対話型協調作業における創造性を支援するシステムに関する研究

１９９８年

西本　一志

内容梗概

本論文は，筆者が平成4年6月から平成7年3月まで株式会社エイ・ティ・アール通信システム研究所において，平成7年4月から平成10年4月まで株式会社エイ・ティ・アール知能映像通信研究所において行った，対話型の協調作業における創造性を支援するシステムに関する研究成果をまとめたものである．

近年の産業構造の急激な変化と国際競争の激化の結果，モノとしての製品の生産性の向上が企業発展の基礎であるというこれまでの常識が次第に通用しなくなりつつあり，各企業においては，知的生産物すなわち知識そのものを創造し，さらにその生産性の向上を図ることが急務となっている．しかも，企業における大規模化，複雑化したプロジェクトは，既に個人によって処理できる範囲を大きく越えているため，必然的にグループによる取り組みが不可欠となっている．このような潮流のなかで，近年劇的な発展を遂げた計算機環境と通信環境とを有効活用することにより，個々の人間の創造性を拡張し，さらにグループによる効率的な知識創造を支援する技術の研究が精力的に進められている．本研究は，この研究分野に属するものである．本研究は，対話型協調作業が本質的に備える創造的な側面に着目し，特に発散的思考と呼ばれる思考活動を効果的に支援するシステムを構築するための基礎技術を確立することを目的とする．

人の創造性を支援するシステムは，支援の形態によって以下の三つのレベルに分類できる．すなわち，黒板やカードに相当する電子的ツールを提供する秘書レベル，利用者が入力する情報断片の構造化を支援する枠組みレベル，アイデアの素材を提供する生成レベルの三つである．いずれのレベルの支援システムもそれぞれに有効に作用するが，計算機環境，特に蓄積された膨大な情報資源の有効活用という観点に立つと，生成レベルの支援機能をもつシステムの実用化が望まれる．生成レベルのシステムは，さらに入力情報の語義的な関連に基づく情報を提供するシステムと，入力情報の情報構造との関連に基づく情報を提供するシステムに分類できるが，現段階では，前者のシステムが実用的であると言える．

このため，既に語義的関連に基づく情報を提供するタイプのシステムは多く開発されており，一部は製品化されている．しかしながら，依然以下のような問題が存在する．第一は，いかに課題やそれに対する思考の文脈との関連性を保ちつつ，同時に利用者が見逃しているような異質な関連性を取り込んだ情報を効果的に抽出するかとい

う問題である．既存システムの多くは，入力される単語に対し，あらかじめ固定的に与えられた連想構造などによって得られる情報を提示するものがほとんどであり，この問題への対応があまりなされていない．第二は，対話という複数の人間による協調行為に対し，どのようにしてシステムが介入すると効果的に発想を触発できるかという問題である．秘書レベルのツールなどではグループによる議論を支援するものが多く存在するが，対話に対して生成レベルの支援を行うシステムは，今のところ存在しない．第三は，非言語的手段による対話の創造性の支援技術に関する問題である．対話型の協調作業は，自然言語によるものだけではなく，非言語的な手段によってもなされる．たとえば芸術分野，特に音楽における創作活動などでこのような非言語的手段による対話が見られるが，このような対話を支援し，創造性を拡張しようとする研究は，今のところ見当たらない．本研究は，以上の問題を解決するための基礎技術を構築するものである．

本論文は，以下の章で構成される．

第 1 章では，創造性支援技術の成り立ちと現状，および問題点を示すことにより，本研究の目的と位置づけを明確化する．

第 2 章から第 5 章までは，自然言語による対話の創造性支援について検討する．第 2 章では，発散的思考を触発できるような情報の抽出手法について検討する．ブレインストーミングにおいて，専門分野を異にする「門外漢」が提供する情報がしばしば発想の行き詰りを打開する効果をもつことから，門外漢の情報抽出プロセスをモデル化し，これを連想検索を応用して実装する．さらに，実装したプロトタイプシステムを用いた実験により，課題との関連性をもつと同時に，外部知識から導入される異質な関連性をも併せもつような情報を抽出できることを示す．第 3 章では，統計処理による思考や対話の構造の可視化手法を用いることにより，個人の思考やグループでの対話のなかに既に存在しているにもかかわらず見逃されているような，課題に対する隠れた関連性を取り出す手法を示す．さらに，この手法と第 2 章で示した情報検索手法とを組み合わせることにより，課題と抽出情報の関連度がそれぞれに異なるものとなる 4 種類の情報検索手法を準備し，実際のブレインストーミングに対してこれらの情報検索手法によって得られた情報を提供することにより，異質な関連性をもつ情報が発散的思考にどのように影響するかを検証する．併せて，どのようなタイミングで対話の場に情報を提供することが効果的かについても検討する．第 4 章では，第 3 章における情報提供タイミングに関する知見に基づき，タイミング判定のための有力な判断材料となる話題転換の有無を遅延なく判定する手法を検討する．創造的な思考を行う対話では，話題は一般に複数の不特定の分野にまたがり，しかもその対話は特定の対話構造をもたない自由対話となる．そこで，特定分野に依存した知識や話題構造知識を用いず，発話の表層情報と対話の進行に伴う時間推移情報のみを利用する，対話のセグメント分割手法を示す．第 5 章では，第 4 章までで示した技術を統合するとともに，さらに発想や意思疎通のための各種タスクを専門に支援するエージェント群

を準備することにより，発散的思考のみならず収束的思考までも含めて対話における創造性を支援することを目指して構築した，創造的対話支援システムについて示す．併せて，このような応用分野のシステム構築における，マルチエージェントアーキテクチャを採用することの効果を示す．

第 6 章と第 7 章では，音楽による対話の創造性支援について検討する．第 6 章では，音楽を用いた対話を行うための基本的支援として，音楽の理論や演奏に精通していない者でも，比較的容易に音楽による自己表現を可能ならしめる手法を検討する．そこで，音楽における音がもつ感性的な「機能」に着目し，演奏インタフェース上のある演奏ポジションには常に一定の機能をもつ音が配置されるようにする，新しい音のマッピング手法を示す．第 7 章では，言語対話と音楽対話の構造的類似性に着目し，第 5 章までで示した言語対話における創造性支援の枠組みを音楽に適用し，さらに第 6 章で示した音楽演奏支援技術を組み合わせることによる，音楽対話行為における創造性の支援手法について示す．

第 8 章では，本研究で得られた成果を要約するとともに，本研究の応用分野，ならびに残されている課題について論じる．

関連発表論文

I. 学術誌掲載論文

1. 西本一志，安部伸治，宮里 勉，岸野文郎：発散的思考支援を目的とする関連性と異質性とを併せ持つ情報の抽出手法の検討，人工知能学会誌， Vol.11, No.6, pp.896–904 (1996).

2. Nishimoto, K., Sumi, Y., and Mase, K.: Toward an outsider agent for supporting a brainstorming session — an information retrieval method from a different viewpoint, *Knowledge-Based Systems,* Vol.9, No.6, pp.377–384 (1996).

3. 角 康之，西本一志，間瀬健二：協同発想と情報共有を促進する対話支援環境における情報の個人化，電子情報通信学会論文誌 D–I， Vol.J80–D–I, No.7, pp.542–550 (1997).

4. Sumi, Y., Nishimoto, K., and Mase K.: Personalizing information in a conversation support environment for facilitating collaborative concept formation and information sharing, *Systems and Computers in Japan,* Vol.28, No.10, pp.1–7 (1997).

5. Nishimoto, K., Sumi, Y., and Mase, K.: Enhancement of Creative Aspects of A Daily Conversation with A Topic Development Agent, In *Coordination Technology for Collaborative Applications — Organizations, Processes, and Agents,* Conen, W., and Neumann G. Eds., Vol.1364, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, pp.63–76 (1998).

6. 西本一志，渡邉 洋，馬田一郎，間瀬健二，中津良平：創造的音楽表現を可能とする音楽演奏支援手法の検討 — 音機能固定マッピング楽器の提案，情報処理学会論文誌， Vol.39, No.5, pp.1556–1567 (1998).

7. 西本一志，角 康之，門林理恵子，間瀬健二，中津良平：マルチエージェントによるグループ思考支援，電子情報通信学会論文誌 D–I， Vol.J81–D–I, No.5, pp.478–487 (1998).

8. Kadobayashi, R., Nishimoto, K., Sumi, Y., and Mase, K.: Personalizing Museum Exhibition by Mediating Agents, In *Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence,* del Pobli, A. P., Mira, J., and Ali, M. Eds., Vol.1416, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer–Verlag, pp.648–657 (1998).

9. 西本一志，間瀬健二，中津良平：発話の時間推移を考慮した自由対談文のセグメント分割手法，情報処理学会論文誌, Vol.39, No.6, pp.1898–1914 (1998).

10. Fels, S., Nishimoto, K., and Mase, K.: MusiKalScope: A Graphical Musical Instrument, *IEEE Multimedia Magazine* (to be published).

- 西本一志，間瀬健二，中津良平：グループによる発散的思考における自律的情報提供エージェントの影響，人工知能学会誌（投稿中）.
- 西本一志，間瀬健二，中津良平：音の機能分析とフレーズおよび音楽プリミティブの相互関係の可視化による音楽創作支援の試み，情報処理学会論文誌（投稿中）.

II. 著書掲載論文

1. Mase, K., Sumi, Y., and Nishimoto, K.: Informal Conversation Environment for Collaborative Concept Formation, In *Community Computing: Collaboration over Global Information Networks,* Ishida, T. Ed., John Wiley & Sons (to be published).

III. 国際会議

1. Nishimoto, K., Mochizuki, K., Miyasato, T., and Kishino, F.: A supporting system for human creativity: Computer aided divergent thinking process by provision of associative pieces of information, In *VCHCI'93 Human Computer Interaction,* Vol.733, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, pp.437–438 (1993).

2. Nishimoto, K., Abe, S., Miyasato, T., and Kishino, F.: A system supporting the human divergent thinking process by provision of relevant and heterogeneous pieces of information based on an outsider model, In *Proc. of The Eighth International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA95AIE),* pp.575–584 (1995).

3. Nishimoto, K., Abe, S., and Mase, K.: Effectively-Heterogeneous Information Extraction To Stimulate Divergent Thinking, In *Proc. of The 2nd International Symposium on Creativity and Cognition,* pp.156–163 (1996).

4. Sumi, Y., Nishimoto, K., and Mase, K.: Facilitating Human Communications in Personalized Information Space, In *Working Notes of AAAI-96 Workshop on Internet-based Information Systems,* pp.123–129 (1996).

5. Fels, S., Nishimoto, K., and Mase, K.: MusiKalScope: A Graphical Musical Instrument, In *Proc. of the International Conference on Multimedia Computing and Systems,* IEEE, pp.55–62 (1997).

6. Sumi, Y., Nishimoto, K., and Mase, K.: Personalizing Shared Information in Creative Conversations, In *Proc. of IJCAI97 Workshop on Social Interaction and Communityware,* pp.31–42 (1997).

7. Nishimoto, K., Sumi, Y., Kadobayashi, R., and Mase, K.: Group Thinking Support with A Multi-Agent Architecture, In *Proc. of The Third International Conference and Exhibition on The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents (PAAM98),* pp.137–154 (1998).

8. Fujita, K., Nishimoto, K., Sumi, Y., Kunifuji, S., and Mase, K.: Meeting Support by Visualizing Discussion Structure and Semantics, In *Proc. of The Second International Conference on Knowledge-based Intelligent Electronic Systems (KES'98),* Vol.1, pp.417–422 (1998).

9. Kadobayashi, R., Nishimoto, K., Sumi, Y., and Mase, K.: Evaluation of Mediating Agents that Personalize Museum Exhibition, In *Proc. of International Workshop on Network-Based Information Systems (NBIS'98)* (to appear).

IV. 国内学会（査読あり）

1. 西本一志，安部伸治，間瀬健二：不特定分野の自由展開型対話における話題転換のリアルタイム検出，情報処理学会 自然言語処理の応用に関するシンポジウム～ネットワーク時代の自然言語処理～論文集， pp.41–48 (1995).

2. 西本一志，角 康之，間瀬健二： Augmented Informative Discussion Environment "AIDE" ，第 2 回知能情報メディアシンポジウム予稿論文集, 電子情報通信学会，pp.259–266 (1996).

3. 西本一志，照井一由，角 康之，間瀬健二：即興演奏における協調作業を支援する音楽 CSCW システムの提案，マルチメディア，分散，協調とモーバイル (DiCoMo) ワークショップ講演論文集， pp.389–394 (1997).

4. 門林理恵子，西本一志，角 康之，間瀬健二：学芸員と見学者を仲介するエージェントによる博物館展示の個人化，マルチメディア，分散，協調とモーバイル (DiCoMo) ワークショップ講演論文集， pp.413–418 (1997).

5. 西本一志，角 康之，門林理恵子，間瀬健二，中津良平：マルチエージェントによるグループ思考支援，電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ大会併催特集シンポジウム ソフトウェアエージェントとその応用シンポジウム講演論文集，pp.155–163 (1997).

6. 西本一志，間瀬健二：自律的情報検索エージェントのブレインストーミングに対する影響の検討，マルチメディア，分散，協調とモーバイル (DiCoMo) シンポジウム講演論文集，情報処理学会（採録決定）.

V. 国内研究会

1. 西本一志，望月研二，岸野文郎：発想支援システムに関する一考察，情報処理学会第 46 回全国大会講演論文集， 7R–2, pp.6-283–6-284 (1993).

2. 西本一志，望月研二，宮里 勉，岸野文郎：発散的発想支援～意外性のある情報の提供手法に関する検討～，人工知能学会研究会資料 SIG-HICG-9301-1, pp.1–8 (1993).

3. 西本一志，宮里 勉，岸野文郎：連想記憶を用いた情報提供による発散的グループ思考支援の試み，北陸先端科学技術大学院大学 國藤研究室主催 第 2 回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集 (1993).

4. 西本一志，安部伸治，宮里 勉，岸野文郎：連想記憶を用いた発散的思考支援システムにおける提供情報の分野制御の試み，計測自動制御学会 第 15 回システム工学部会研究会資料「発想支援技術」， pp.17–24 (1994).

5. 角 康之，西本一志，間瀬健二：新たな視点を提供することによるグループディスカッションの活性化，情報処理学会第 53 回全国大会講演論文集， pp.4-97–4-98 (1996).

6. 角 康之，西本一志，間瀬健二：グループディスカッションにおける話題空間の可視化と発言エージェント，情報処理学会研究会報告 情報学基礎 43–15, pp.103–108 (1996).

7. 西本一志，角 康之，間瀬健二：新たな話題を提供し対話を活性化するエージェント，電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集， SA–9 (1996).

8. 西本一志，角 康之，間瀬健二：一参加者として対話に加わる対話活性化エージェント，電子情報通信学会技術報告 TL96–7, pp.1-12 (1996).

9. 西本一志，渡邉 洋，馬田一郎，間瀬健二：旋律を奏でられる即興演奏用リズム楽器の提案，情報処理学会研究会報告 音楽情報科学 96–MUS–18, Vol.96, No.124, pp.27–32 (1996).

10. 角 康之，西本一志，間瀬健二：個人の視点を伝え合うことによる協同発想支援，合同研究会 “AI シンポジウム’96” （第 7 回）講演論文集, 人工知能学会研究会資料 SIG–J–9602, pp.70–75 (1996).

11. 角 康之，西本一志，間瀬健二：人間–機械系による創造 — 発想支援ツールの位置づけ —，人工知能学会研究会資料 ホットトピックスと並列人工知能研究会，Vol.3, pp.7–12 (1997)．

12. 西本一志，角 康之，間瀬健二：音楽創造性支援システム Music–AIDE，計測自動制御学会システム工学部会第 19 回研究会 “発想支援ツール” 講演論文集， pp.1–8 (1997).

13. 藤田邦彦，西本一志，角 康之，國藤 進，間瀬健二：議論の時間的構造の可視化による会議支援，計測自動制御学会システム工学部会第 19 回研究会 “発想支援ツール” 講演論文集， pp.73–78 (1997).

14. 西本一志，間瀬健二：作曲や即興演奏における旋律創作ルール抽出支援手法の検討，情報処理学会研究報告 ヒューマンインタフェース（発表予定）.

目次

第 1 章

序論

1.1 本研究の目的

本研究の目的は，人間による対話型の協調作業における創造性，特に発散的思考と呼ばれる思考活動を効果的に支援するシステムを構築するための基礎技術を確立することにある．ここで，対話型の行為とは，ある情報伝達手段を用いた人間同士の相互作用によって意思疎通をはかる行為を広く指す．すなわち，自然言語によってなされる通常の意味での言語対話に加えて，非言語的手段により意思疏通をはかる行為をも含んでいる．

近年の産業構造の急激な変化と国際競争の激化の結果，モノとしての製品の生産性の向上が企業発展の基礎であるというこれまでの常識が次第に通用しなくなりつつあり，各企業においては，知的生産物すなわち知識そのものを創造し，さらにその生産性の向上を図ることが急務となっている [86]．しかも，企業における大規模化，複雑化したプロジェクトは，既に個人によって処理できる範囲を大きく越えているため，必然的にグループによる取り組みが不可欠となっている．

このような潮流のなかで，近年劇的な発展を遂げた計算機環境と通信環境とを有効活用することにより，効率的な知識創造を実現しようとする試みがなされつつある．そのための一つのアプローチとして，計算機自体に創造性をもたせようとする研究開発の方向性が考えられる．その実現は，人工知能研究の一つの大きな夢である．しかしながら，現状の技術レベルではその実現は実質的に不可能であり，また近い将来においても実現される見込みは少ない．このため，創造という行為自体は人間に任せ，既存の強大な計算機環境の活用によって個々の人間の創造性を拡張し，さらにグループによる効率的な知識創造を支援するという手段をとる方が，現段階では人間 – 機械システム全体の能力向上に対する貢献が大きいだろうとの認識が広まってきた [24]．そこで，計算機によって知識創造を支援しようとする技術の研究が精力的に進められつつある．現在この分野は，一般に発想支援技術と呼ばれている [56, 55]．

言うまでもなく発想の過程は非常に複雑であり，多様な副過程で構成されると考え

るのが一般的である．副過程の分割方法は，研究者によってまちまちであり，現在のところ統一的な見解は与えられていないが，大まかには思考の幅と視野を拡げるための発散的思考と，得られた情報断片をまとめて一つの仮説を組み上げていく収束的思考の過程が存在し，これらが繰り返されていると考えられている [39]．

本研究では，発想の過程のうち，特に発散的思考過程を中心として支援するシステムを構築することを目的とする．すなわち，システム利用者に対し，異なる視点の存在を知らせること，および異なる視点から得られる情報を提示することにより，利用者がもつ固定観念を利用者自身に気づかせ，その結果としてより幅広い視点からの問題への取り組みを可能ならしめるシステムの構築を目指す．

また，本研究では，特に複数の人間による対話型協調作業の創造的側面の触発を目指す．「三人寄れば文殊の知恵」という諺にもあるように，一般に 1 人だけで考えあぐねているよりは，複数の人間で議論しつつ思案するほうが，良いアイデアは生まれ易いものである．また，アイデアの創造を特に明確に意図していないようなたわいない対話から，新しいアイデアのきっかけが得られることを我々は日常しばしば経験する．このように対話行為は，本質的に創造性を高める作用をもっていると言える．本研究ではこのような対話の創造的側面に着目し，さらにその創造性を増強するための技術の確立を目指す．したがって，本研究は発想支援指向グループウェアの研究と位置づけることができる．

なおはじめにも述べたように，本論文では，自然言語による言語対話のほかに，非言語対話をも取り扱う．従来，非言語手段による意思疏通に関する研究では，人の表情や身振りなどが研究対象とされてきたが，本論文では非言語意思疏通手段として音楽を取り扱う．これは音楽の演奏が，対話型協調作業による創造という構造を非常に明瞭にもつからである．ただし，本論文では音楽のみを取り扱うが，その目的とするところは，音楽に特化された創造性触発技術の確立に留まらず，より一般的に，意味の曖昧な情報伝達手段による意思疎通における創造性触発のための枠組みを与えることである．したがって，本研究の応用分野は，新製品開発などの工学分野に加えて，近年再び科学技術との融合が注目され始めている芸術分野をも対象とする．

1.2 本研究の背景

「創造性」とはどのような能力なのか，どのようなプロセスを経てなされる行為または現象なのかという問題については，古くから多くの議論がなされてきた．いわゆる発想法の多くは，1950 年代から 1960 年代にかけて案出されている．それらのいくつかは，経験と直感に基づく技法の提案に留まっているが，なかには発想のプロセスを理論的に解明し，論理構造として記述しようとする試みも見られる．

発想に関する理論体系の代表として，以下の例があげられよう．発想を得るためには，通常の論理的思考，すなわち Induction（帰納）と Deduction（演繹）だけでは

不十分であり，第三の思考手法としての Abduction （仮説推論）が必要であるということが，既に 1600 年代の初頭に Francis Bacon によって指摘されている [69]．そして 1800 年代後半に入って C. S. Peirce によって，記号主義の立場から，ある意外な観測事実について，その事実を説明しうる別の事実を仮説として推測する，後件から前件への推論過程として， Abduction の論理的体系が定式化された [121]．市川[38] は，ある既知の事象に適当な観点を導入することによって抽象化し，これに対象系の条件群を加えて再構成することにより創造がなされるという，等価変換理論を定式化している．また，野中と竹内 [86] は，企業におけるグループによる知識創造を，個人を含む様々な粒度のグループによって，知識が暗黙知と形式知とに繰り返し相互変換される過程（これを野中らは「知識創造スパイラル」と呼んでいる）として理論化した．また， Hori[33] は，概念（concept）が概念素（micro-concept）の組合わせによって構成されるという前提に立ち，発想の過程を概念と概念素による自己組織化過程として定式化することにより，発想の行き詰まりや異質な情報の発想への刺激効果などの，様々な発想にかかわる現象の説明を試みている．

一方，経験に基づく発想技法の提案は極めて多数なされている．そのなかでも特に有名なものとして，以下の例があげられよう． A. Osborn[92] は，質より量，批判厳禁，便乗奨励，人が笑うような発言歓迎，という四つの原則を課し，課題について自由奔放にアイデアを大量抽出する手法としてのブレインストーミングを提案した． W. J. J. Gordon[20] は，発明家の心理過程を分析することにより，課題に関するアナロジーを考え出すことによる発想手法としてのシネクティクスを提案した．川喜田 [50] は，観測事実を記述したカードをもとに，これに見出しづけを行いつつ順次グループ化することにより，データが語りかける真実を見い出す手法としての KJ 法を提案した．中山 [68] は，課題に対するイメージ的なアナロジーをまず導き，そのアナロジーと課題における現象を比較することにより解決のヒントを得る， NM 法を提案した．

十分な訓練を積むことによって，これらの発想法が実際に発想の獲得に有効に作用することは，既に多くの企業などの現場で実証されている．そこで，これらの発想の理論および発想の技法を計算機科学の分野に持ち込み，計算機の備える強大な計算力と蓄積された膨大な情報を利用することにより，さらに有益なアイデアをより効率的に獲得しようとすることは，ごく自然な潮流である．また，一般に発想法の体得は容易ではないことが多い．そこである発想法を十分には体得していない者でも，計算機の支援によってその発想法を利用して効果的に発想を得ることができるようにしようとする動きも，また一つの自然な流れであると言える．

ここで，計算機をどう用いるかという点について，次の二つのアプローチが存在する．一つは，計算機に論理演算機構などを組み込むことにより，計算機自体にアイデアの生成を行わせようとするアプローチである． Abduction の論理演算によって，計算機に仮説推論を実行させるシステムの例としては， Theorist[93] や國藤らによる仮

説推論システム [54] があり，さらに仮説推論に関する高速化の研究も進められつつある [42]．

しかしながら，現実的には仮説空間の規模の問題と，その結果としての推論に要する計算量の問題のため，現状の技術では一般的な問題に対して適用可能な仮説推論エンジンを実現することは非常に困難である．また，現段階で計算機に実装可能なレベルにある理論は，おそらく Abduction のみであり，その他の理論については，まだ発想過程の机上における説明の段階に留まっている．このように，「機械による創造」は，現実にはまだ技術的な夢の段階にあると言える．

そこで，創造行為そのものは人間に任せ，計算機には，計算機が得意とする領域から人間の創造作業を支援させせようとする研究が開始された．これが「発想支援技術」と呼ばれる研究分野である．ただし，発想を刺激する機能をもつシステムないしツールが，この技術によってはじめて産み出されたわけではない．たとえば，ワードプロセッサなども，本来その機能として意図されたものではないが，潜在的に発想を支援する機能を含んでいる．このように，既に人の発想を支援する機能をもつツールは存在し，実用化されている [90]．したがって，本研究で言う発想支援システムとは，人間の創造性を支援し拡張することを第一義的機能として想定し構築されたシステムのことを指すものとする．

Young[123] は，発想支援システムを三つのレベルに分類した．第一は「秘書」レベルである．このレベルのツールは，計算機を動的な黒板やカードとして使用するものであり，アイデア生成とその構造化はすべて利用者が行う必要がある．第二は「枠組み」レベルである．このレベルのツールは，アイデアをまとめるための何らかの枠組み，あるいは構造を提供する．第三は「生成」レベルである．このレベルのツールは，課題に対する解答，あるいは解答の素材となりうる情報を提供する．

ワードプロセッサや一般的なグループウェアなどは，潜在的な秘書レベルの発想支援ツールとみなせる．また，発想支援を意図して開発されたこのレベルのツールとしては，以下のようなものがあげられる．Xerox PARC において開発された Colab[100] は，ブレインストーミングを対象として人間の創造性を支援することを目指した，記念碑的なシステムである．Colab は，少人数による対面型の電子会議システムであり，Cognoter と呼ばれるサブシステムによって，提出されたアイデアの電子的カード化とそのグループ化，再利用などが可能となっている．一方，特に日本においては KJ 法を対象とし，電子的カード作成と KJ 法における島作り作業の効率化を狙ったシステムが多数開発されており（たとえば，KJ エディタ [49]，D-ABDUCTOR[102]，郡元 [64] など），一部は既に商品化されている（たとえば，ISOP[30] など）．

枠組みレベルのツールとしては，統計手法（主成分分析や多次元尺度構成法など）や力学モデル（バネモデルなど）を用いて，アイデア断片やキーワードの関連性を空間構造として提示するシステムが多数開発されている．統計手法を用いた例として

は，AA1[31]，SC0/SC1[101]，CAT0/CAT1 [103]，CSS[105] などがある．また，力学モデルを用いた例としては，文献 [112, 109, 96, 84, 19] などがある．

以上のツールやシステムは，それぞれに発想の支援に有効に寄与し，成果をあげている．実際，発想の支援に対する有効性は支援レベルの上下とは関係ないことを Young[123] は指摘している．しかしながら，昨今の強大な計算機資源の活用という観点からすると，秘書レベルと枠組みレベルのツールでは物足りない．これに対し，生成レベルのツールは，この計算機資源，特に全世界的に蓄積されている膨大な情報を有効に活用する可能性をもっている．

生成レベルのツールは，利用者の入力する情報に対して，様々な観点からの関連性をもつ情報をデータベースから抽出し，アイデアの素材として提供することによって，利用者に様々な「気づき」を与え，固定観念の打開を図るものである．情報の抽出手法としては，利用者の入力する単語ないし文に対する語義的な関連に基づき情報をデータベースから抽出し提供するものと，入力情報の情報構造に基づき，類似した構造をもつ情報をデータベースから抽出し提供するものとに大別される．

語義的な関連情報を提供するタイプのツールとしては，以下のような例がある．IdeaFisher[14] は，利用者の入力に対し，あらかじめ準備されていた連想辞書から関連する語句を抽出し，提示する．Keyword Associator[117] も同様のシステムであるが，Internet 上のネットワークニュースに投稿された膨大な記事群から，記事の文脈を考慮した重みづけを施したキーワードに基づく連想辞書を自動構築する点が特長である．大川ら [87] は，状態 – 対策ネットワークと呼ぶ属性の継承構造をもつネットワーク型データベースと，統計処理による一種の概念空間とを用いることにより関連情報を提示するシステムを構築している．

一方，情報構造を利用するタイプのツールとしては，以下のような例がある．Metaphor Machine[123] は，入力情報の構造をもとに，関係データベースの手法を応用して隠喩（Metaphor）を自動生成して提示する．知恵の泉^{TM}[91] は，概念の定義・被定義階層構造を類推によって転写することで新たな概念を導く．Alva[113] は，NM 法 T 型の発想法を方法論の基盤とし，入力情報の係り受け構造を利用してアナロジーを生成する．

情報構造を利用するタイプのツールは，時として発想そのものと思えるような情報を提示する．この意味で，このタイプのツールは，将来の「創造する機械」実現のための有力な足掛りとなりうる．しかしながら，入力情報から構造を取出す手法，大規模な情報構造知識ベースの構築，および入力と知識ベースの情報との柔軟な構造比較手法などに多くの問題があり，実用的なシステムを構築する点で依然困難が多い．この点，語義的関連を利用する手法では，大規模な知識ベースを容易に構築可能であり，現時点の技術でも実用的なシステムが構築可能である．実際 IdeaFisher は，既に製品化されている．

以上のような，発想の技術およびその計算機支援技術の発展と現状を踏まえ，本研

究では実用的でかつ計算機資源を有効活用できるシステムの実現を目指し，語義的な関連に基づく生成レベルの発想支援システムを実現することを目的とした．

既に述べたように，創造的な作業において対話は非常に重要な役割を果たす．しかしながら，このような対話というグループによる協調的作業に対し，システムが能動的に生成レベルの支援を行った例は，筆者の知る範囲で存在しない．従来の生成レベルのシステムは，個人的な使用を前提としており，システムの動作は利用者からの明示的な指示によってなされていた．たとえば，GrIPS[46] は，グループウェアに前述の Keyword Associator を組み込んでいるが，その利用は個人レベルでの作業に限られている．そこで，本研究ではエージェント技術を導入し，生成レベルの支援を対話状況に応じて自律的に行うことができるシステムの実現を目指す．

また，生成レベルの発想支援システムは，膨大な情報源のなかから，現在の課題における発想を触発する情報を抽出するという点で，情報フィルタリングシステムとしての性格をもつ．情報フィルタリングの研究は既に多数なされており，近年は World Wide Web 上から利用者の興味に合致した情報を自動検索する技術の研究が特に盛んに行われている．これらの技術は，一般にあらかじめ準備された利用者プロファイルにできるだけ合致する情報を抽出することを目的としている．すなわち，伝統的な情報検索技術と同様，再現率と適合率をいかに高めるかが研究課題となる．

しかしながら，発想の支援という応用分野で求められる情報フィルタリング技術では，従来の考え方が通用しない．なぜならば，発想の支援には，利用者が思いつかないような，あるいは見落としているような情報を提供することが肝要であり，当然そのような情報に関しては，ユーザプロファイルなどには現れていないと考える必要があるからである．したがって，課題との関連性を失わずに，同時にいかにして異質性を取り込んだ情報を抽出するかが鍵となる．従来の語義的関連に基づく生成レベルの発想支援システムでは，一般に単語レベルでの語義が基本とされているため，思考や対話，議論の文脈が，システムによって抽出される情報に反映され難い．そこで本研究では，連想検索技術と情報構造の可視化技術とを応用することにより，この一見矛盾した要請に対応する手段の実現をも目指す．

1.3 本論文の構成

本論文は，以下の章で構成される．

第 2 章では，利用者からの入力情報に対し，関連性と同時に異質性を併せもつ情報を抽出する手法について検討する．ブレインストーミングにおいて，発想のきっかけがしばしば専門分野を異にする「門外漢」から与えられることを踏まえ，門外漢がいかにして自分の主な知識分野と異なる知識分野に関連する情報を，自分の知識のなかから検索抽出するかに基づく「門外漢モデル」を提案する．さらに，このモデルに従い，連想検索を適用して構築したプロトタイプシステムを用いた被験者実験によっ

て，本モデルに基づくシステムが，入力情報に対してどのような関連性と異質性とをもつ情報を抽出することが可能であるかについて評価する．

第 3 章では，統計手法を用いた情報の構造化手法を用い，さらに第 2 章で述べた手法などを組み合わせることにより，対話における話題と話題構造とを反映しつつ，同時に異なる視点からの関連性を取り込むことができる情報検索手法を提案する．さらに，被験者実験によって，このシステムを人間同士の対話に一定間隔で自動的に割り込ませることにより，人間の発散的思考がどのような影響を受けるかについて評価する．さらに，システムがどのようなタイミングで介入することがより効果的であるかについても検討を加える．

第 4 章では，第 3 章で得たシステムの割り込みタイミングに関する知見に基づき，割り込みタイミングを計る上で重要な判断材料となる，話題転換箇所の検出手法について提案する．新しいアイデアを創造するための対話は，通常明確な目標や対話構造をもたない自由対話となり，しかもさまざまな分野に対話内容が展開するため，特にこのような性質をもつ対話に適用可能な話題転換点の検出手法を考案する．さらに，システムが適切に介入できるようにするために，ある時点でシステムが処理対象としている発話以降の発話に依存した情報を用いない，無遅延検出手法を考案する．

第 5 章では，第 4 章までで構築された自律的発散的思考支援エージェントを取り込み，さらに収束的思考過程まで含めて，発想の過程を一貫して支援するシステムの実現手法について検討する．このために，まずグループによる思考過程をモデル化し，これに基づき，協同発想の過程をいくつかの単純なタスクに分解する．さらに，このタスクを個々に支援するエージェント群により，マルチエージェントシステムとして構築した創造的対話支援環境 “AIDE” （Augmented Informative Discussion Environment）について説明するとともに，グループによる創造的思考支援システムの構築のためにマルチエージェントアーキテクチャを適用することの有効性を示す．

第 6 章では，音楽における対話行為の創造性を支援するための第一段階として，まず誰もが容易に「音楽」によって自分の意図を表現できるようにするためのシステムについて述べる．このシステムを用いることによって，音楽理論に精通していない初心者であっても，比較的容易に自分の意図を音楽表現することが可能となる．しかも，システムの使用法に習熟することにより，より高度な表現を自在に行うことが可能となるので，本システムは人の創造性を損なわない点が大きな特長である．すなわち，本システムは，感性を音楽表現に置き換える，一種の自動翻訳装置であるとみなすことができる．

第 7 章では，第 6 章で示したシステムを応用し，さらに音楽演奏における対話と言語対話との類似性に着目し，第 5 章で示した AIDE の枠組みを音楽に持ち込むことによって，音楽における創造性を触発できる可能性を示す．さらに，試作したプロトタイプシステムによる簡単な実験も併せて示す．

第 8 章では，本論文で述べてきた研究成果をまとめるとともに，本論文で示した技

術の応用分野，および今後の研究課題について示す．

第 2 章

連想検索による異質性を含む情報の抽出手法

2.1 はじめに

本章では，ある情報に対して，それと関連性があると同時に異質性をも併せもつような情報を効率的に検索・抽出する手法について検討する．このような情報を抽出することの目的は，主に人の発散的思考活動を支援することにある．

人の創造的活動過程の分析は，従来より種々試みられている．たとえば國藤 [55] は，発散的思考過程・収束的思考過程・アイデア結晶化・検証と吟味の 4 過程に分類している．このうちの最初の過程である発散的思考過程では「ふと気になる情報」も含めて，解決すべき問題と関連があると思われる情報を虚心坦懐に集めることが重要となる．そして，この段階で集めた情報のうち，一見関連がなさそうに見える情報の間にあらたな関連を収束的思考過程において見いだしたとき，新しい発想が得られる可能性がある [50]．したがって，あらたな発想を得るためには，まず発散的思考過程においてできるだけ幅広い視点からの情報を獲得することが重要である．この思考過程の支援手法として有名なものにブレインストーミング [92] がある．しかし，たとえば同じ分野の専門家ばかりが集まってブレインストーミングを行なうと，全員が共通にもつ固定観念の制限を受けて，ある枠の範囲内の情報しか得られない場合が往々にしてある．このため，ブレインストーミングを行なう場合に，専門分野を異にする門外漢を 1 人参加させると有効であることが経験的に知られている．これは，門外漢が提供する異質な情報によって，専門家達が見逃していた関連情報に気付くからである．

そこで本章では，ブレインストーミングにおける門外漢の情報抽出の思考過程をモデル化することによる，異質性と関連性とを併せもつ情報を抽出するための手段について検討する [71, 72, 74]．以下，2.2節ではまず客観的基準および主観的基準から情報空間を分類することによって，どのような情報が発散的思考に有効に作用するかを検討し，「有効な異質性」とは何かを定義する．そして，有効な異質性をもつ情報の獲得を実現するための「門外漢モデル」を提案する．2.3節では門外漢モデルに基づ

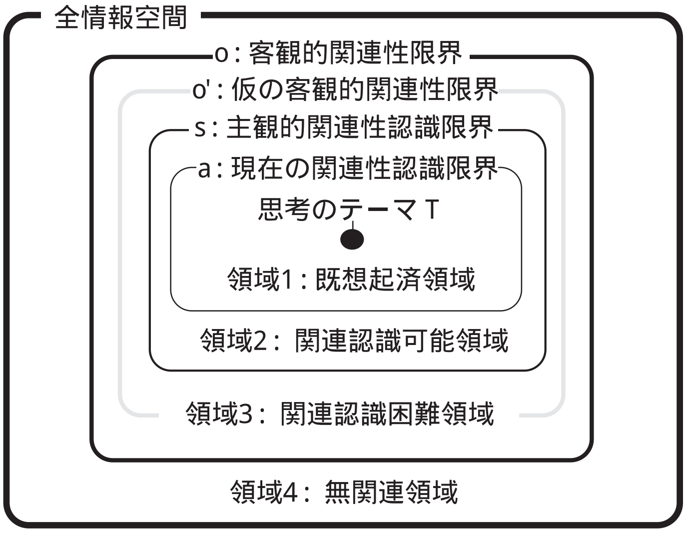

図 2.1: 思考者 P の知識と視野に基づく全情報空間の分類

き作成した実験システムの基本的構成を説明する．2.4節では実験システムを用いた被験者実験を行い，関連性と意外性の二つの基準でシステムが抽出する情報を評価することによって，実験システムの動作特性の検証を行なう．2.5節はむすびである．

2.2 有効な異質性とその獲得のための門外漢モデル

2.2.1 全情報空間の分類

ある人物 P に対して，ある思考のテーマ T が与えられたときに，全情報空間は以下のように分類できる（図 2.1参照）．

領域 1 「既想起済領域」　テーマ T が与えられた時点で人物 P がおよそ想起している情報の領域．その時点での関連性の認識限界 a の内側．

領域 2 「関連認識可能領域」　テーマ T が与えられた時点では想起されていないが，この領域に含まれる情報が与えられればテーマ T との関連性を人物 P が認識可能な情報の領域．その外側境界 s は，主観的関連認識限界である．

領域 3 「関連認識困難領域」　実際には関連性があるにもかかわらず，人物 P がテーマ T との関連性を見い出すのが困難ないし不可能な情報の領域．その外側境界 o は，客観的関連性限界である．

領域 4 「無関連領域」　テーマ T と全く無関連な情報の領域．客観的関連性限界 o の外側である．

このように情報空間を分割した際，領域 2 に含まれる情報は，人物 P にとって既知であるにもかかわらず見落としていた関連性を直截に人物 P に提示する．したがっ

て，この領域に含まれる情報は即時的に人物 P の制限された視野（固定観念）を打開する効果があると期待できる．一方，領域 3 に含まれる情報の関連性については，その情報が与えられても P は明確には気づくことができない．2.1節で述べた「ふと気になる情報」もおそらくここに含まれる．しかし，P がその隠れた関連性について考え，調査し，そしてその関連性を見いだすことができたなら，やはりそのような情報も P の固定観念を打開する効果がある．すなわち，固定観念の枠とは境界線 a ないし s で表わされ，これを打開するためには領域 2 および 3 に含まれるような情報を抽出し提供することが有効な手段であると結論できる．

反対に，領域 4 に含まれる情報はテーマ T と完全になんの関連もない．このような情報が人の思考に意味のある作用を及ぼすとは考え難い．また，領域 1 に含まれる情報は，思考を行なう上で必要な基礎的情報であるが，既に P の視野内にある．すなわち，固定観念の打開効果とは関係のない領域である．

2.2.2 異質性の定義

ここで，情報の「異質性」について定義する．まず，異質性には，発散的思考に対する有効性の観点から「有効な異質性」と「無効な異質性」の 2 種類が存在する．無効な異質性とは領域 4 に含まれる情報のもつ異質性で，つまり「無関連性」である．一方，有効な異質性とは，領域 2・3 に含まれる情報のもつ異質性で，つまり「隠れた関連性」のことである．以下特に断わらない限り，異質性とはこの「有効な異質性」を指すものと定義する．

2.2.3 門外漢モデル

本項では，もとの情報に対して関連性と異質性を併せもつ情報を抽出するための門外漢モデルを提案する．図 2.2に門外漢モデルを示す．本モデルは 1) 関連性の導入，2) 異質性の導入，3) 情報の抽出の三つの処理段階で構成される．以下，各過程について説明する．なお，本章で示す実験システムでは，扱う情報はすべて「発言」および「記事」などのテキスト情報である．そこで，各過程における処理の概要をテキスト情報の処理の表現を用いて示す．

関連性の導入過程 この過程は，会議参加者の発言内容を把握するための過程である．ただし，「門外漢」は現在の議論の対象分野についての専門知識をもたない．したがってその発言内容を深く理解しないで，表面的に意味をとらえる程度である．この過程は，入力された発言からその内容を示すであろう語群を取り出す処理で実現できる．つまり文（章）から取り出されたそのような語群が，たとえ文（章）の形を成していなくてももとの文（章）の表面的な意味をほぼ保持していると仮定する．この語群を以下では発言に関する元意語群 G_o と呼ぶ．

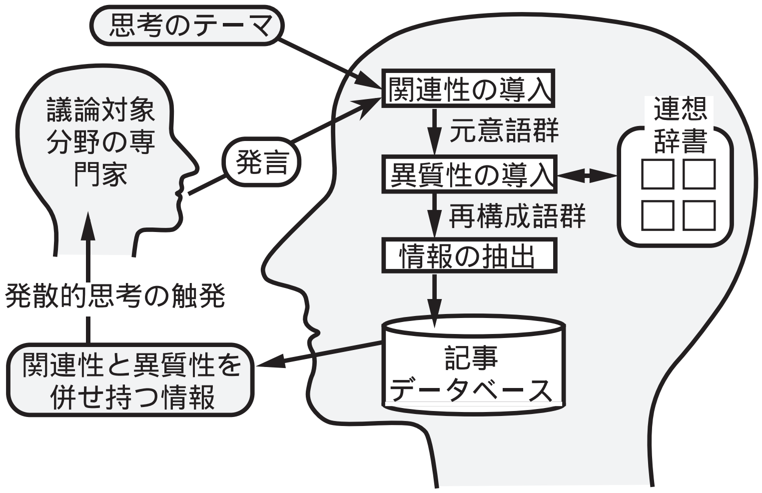

図 2.2: 門外漢モデル

異質性の導入過程 門外漢は，会議参加者の発言内容を会議参加者達とは異なる分野の知識に照らして理解しようとする．これは，他者の発言内容を，門外漢のもつ知識によって表現しなおす行為であると言える．この過程を実現するためには，以下のような処理を行う．まず，会議参加者達のもつ共通分野知識 K_e とは異なる異分野知識 K_d の情報で構築した連想辞書 D を準備する．前過程において，ある発言 O から抽出された m_g 個の語によって元意語群 $G_o = \{g_1, g_2, g_3, \ldots, g_i, \ldots, g_{m_g}\}$ が生成されているとき，D を参照して各語 g_i の連想語群 R_{g_i} を得る．次にすべての R_{g_i} を比較し，多くの R_{g_i} に共通して含まれる連想語をいくつか取り出し，再構成語群 G_r を生成する．結局この処理は，知識分野 K_e 下で G_o が表現していた意味を知識分野 K_d 下で G_r として表現しなおしているのである．この結果 K_d から得られる関連性が，ほかの会議参加者達にとっては隠れた関連性（つまり異質性）となると期待される．

情報の抽出過程 前過程での理解結果に基づき，門外漢が自分の手持ちの情報のなかから関連があると思われる情報を検索抽出する過程である．この過程は，G_r と記事データベースに含まれる各記事の類似度を計算し，高い類似度をもつ記事から順に提供することで実現する．記事データベースには連想辞書と同一分野の情報を含むものを通常用いる．この理由は，G_r は K_d 下で表現された意味をもつのだから，たとえば化学的な内容の検索文で情報を検索するには化学的な情報を含むデータベースを使用するのが適切であるのと同様に，G_r を用いて情報を検索するには K_d を含む分野の記事データベースを使用するのが妥当だからである．

なお，2.2.1項で述べた客観的関連性限界 o を機械的に見い出すことは実質不可能と思われる．そこで本モデルでは，便宜的に図 2.1に示す仮の客観的関連性限界 o' を設定し，この外側にある記事は G_r に含まれる語を一切含まないものとする．これはか

なり粗い設定であるが，このような o' を用いても，o' の一部ないし全部が主観的関連性限界 s の外側にあれば，システムは有効な情報を獲得できる．一方，G_r に含まれる語を 1 個だけ含むような記事は実際には真の客観的関連性限界 o の外側にある無関連情報である可能性もあるが，このような事態は，極端に類似度の低い記事を提供しないようにすることでほぼ防止できる．この結果，本システムが抽出する情報は常になんらかの関連性を含むものとなる．

2.3 実験システムの基本的な構成

2.2節で述べた門外漢モデルに基づき，実験システムを構成した．図 2.3にソフトウェアの基本的な構成と処理の流れを示す．システムは形態素解析モジュール，連想記憶モジュール，およびデータベースマネージャで構成される．システムの処理は，知識構築フェーズとシステム利用フェーズとに分かれる．システム利用フェーズでは，各モジュールがそれぞれ順に門外漢モデルにおける関連性の導入，異質性の導入，および情報の抽出の各過程にほぼ対応する．

2.3.1 処理の概要

知識構築フェーズ（図 2.3の点線）では，連想辞書ならびに記事データベース（この二つをシステムの知識と呼ぶ）を構築する．まず門外漢にもたせたい知識分野の記事群を準備し，ここから 1 記事ずつシステムに入力する．入力された記事は形態素解析モジュールで形態素解析され，記事キーワードベクトルが生成される．ついで，この記事キーワードベクトルを連想記憶モジュールに入力し，連想辞書を生成・更新する．同時に，その記事と記事キーワードベクトルを組で記事データベースに登録する．これらの処理を記事群に含まれる全記事について繰り返す事により，その記事群の分野に依存したシステムの知識が形成される．

システム利用フェーズ（図 2.3の実線）では，システムへの入力は会議参加者の発言である．発言はやはり形態素解析モジュールで形態素解析され，発言キーワードベクトルに変換される（この発言キーワードベクトルが元意語群 G_o に相当する）．連想記憶モジュールは発言キーワードベクトルと連想辞書を使用して連想想起を行ない，連想キーワードベクトルを得る（この連想キーワードベクトルが再構成語群 G_r に相当する）．データベースマネージャは，連想キーワードベクトルと，記事データベース中の各記事キーワードベクトルとの類似度を計算し，最も高い類似度をもった記事を利用者に提供する．

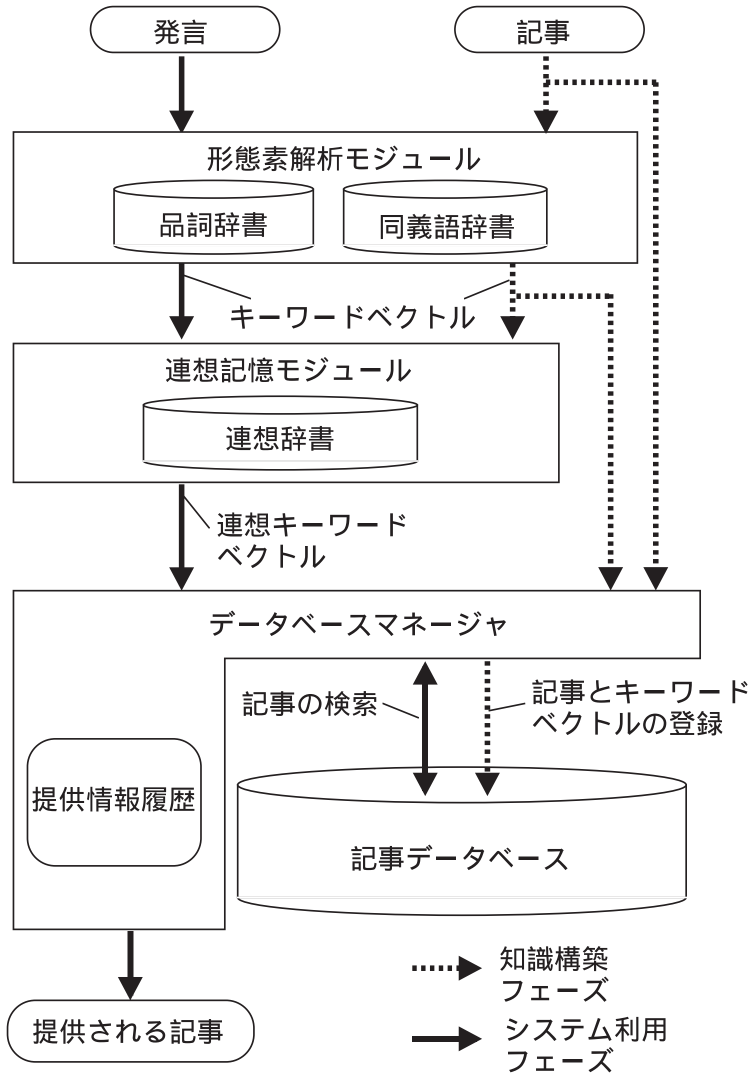

図 2.3: 実験システムのソフトウェア構成と処理の流れ

2.3.2 各モジュールの詳細

2.3.2.1 形態素解析モジュール

このモジュールでは，入力された1個のテキスト（記事および発言）に対してまず形態素解析を行う．はじめにテキストを単語に切り分け（日本語の場合），ついで文法情報および品詞辞書を用いて各語の品詞を決定する．語尾変化している語などについてはその語の原形に戻す．また，同義語辞書を準備し，この辞書に登録されている語については，その語に対応する代表語に置き換える．こうして分割・解析された語群から，テキスト中に出現する順に，指定された特定の語群（たとえば名詞）をキーワードとして採用する（ただし同じ語が複数回出現する場合は1度しか採用しない）．1個のテキストから採用するキーワードの数は最大 m_u 個とする．キーワードをテキスト中での出現順に採用するのは，後で述べる実験で知識構築に使用した記事が，最初に記事の要旨があり，その後に補足説明がある構造をもつからである．こうして得たキーワード群から，以下の手順でキーワードベクトルを生成する．

知識構築フェーズでは，記銘させる記事群が n 個の記事からなるとき，ある記事 $A_j (j = 1 \sim n)$ の記事キーワードベクトル $\mathbf{K}_j$ は次式で定義される．

$$\begin{aligned}\mathbf{K}_j &= (\delta_1, \delta_2, \delta_3, \ldots, \delta_i, \ldots, \delta_{m_T})^t \\ \delta_i &= \begin{cases} 1 & (w_i \in A_j) \\ 0 & (w_i \notin A_j) \end{cases}\end{aligned} \tag{2.1}$$

ここに，m_T は n 個の記事から得たキーワードの総数である．ただし，同じキーワードが複数の記事に出現しても重複してカウントすることはしない．w_i は m_T 個のキーワードのうちの i 番目のキーワードである．つまり，あるキーワードベクトル $\mathbf{K}_j$ の m_T 個の要素 δ_i 中で値が1をとるものは最大 m_u 個あり，値が1をとる δ_i に対応するキーワード w_i が A_j からキーワードとして採用されたことを示している．なお，“$\mathbf{X}^t$” は行列ないしベクトル $\mathbf{X}$ の転置を示す．

システム利用フェーズでは，知識構築フェーズで抽出されたキーワード集合 $W_T = \{w_i; 1 \leq i \leq m_T\}$ を用いて，入力された発言 O から発言キーワードベクトル $\mathbf{Q}$ を次式に従って生成する．

$$\begin{aligned}\mathbf{Q} &= (\delta_1, \delta_2, \delta_3, \ldots, \delta_i, \ldots, \delta_{m_T})^t \\ \delta_i &= \begin{cases} 1 & (w_i \in O \wedge w_i \in W_T) \\ 0 & (w_i \notin O) \end{cases}\end{aligned} \tag{2.2}$$

つまり $\mathbf{Q}$ はその発言が W_T 中のどのキーワードを含んでいるかを示している．W_T に含まれないような語をキーワードとして採用しないのは，そのような語はシステムの知識にはもともとない語であるので，採用しても以後の処理において無意味だからである．しかし，そのような語の意味は発言中でこの語と共起しているほかの語から間接的に表出されるであろう．

2.3.2.2 連想記憶モジュール

連想記憶の手法は，基本的にアソシアトロン [67] の手法に準じている．知識構築フェーズでは，以下の演算によって連想記憶行列 $\mathbf{M}$（大きさ $m_T \times m_T$）を生成することで n 個のベクトル $\mathbf{K}_j$ を記銘する．

$$\mathbf{M} = \sum_{j=1}^{n} \mathbf{K}_j \mathbf{K}_j^t \tag{2.3}$$

つまり $\mathbf{M}$ は，記銘した記事群における各キーワード相互の共起関係を記述している．

システム利用フェーズでは，発言キーワードベクトル $\mathbf{Q}$ と上記の連想記憶行列 $\mathbf{M}$ を用いて，以下の演算によって連想キーワードベクトル $\mathbf{R}$ を得る．

$$\mathbf{R} = \phi_\theta(\phi_{\theta=0}(\mathbf{M})\mathbf{Q}) \tag{2.4}$$

ここに，ϕ_θ は行列 $\mathbf{X}$（ただしベクトルも $1 \times N$ または $N \times 1$ の行列とみなす）の各要素 x_{ij} を閾値 θ によって 2 値化する量子化関数であり，$\mathbf{X}$ を量子化した行列 $\mathbf{X}' = \phi_\theta(\mathbf{X})$ の各要素 x'_{ij} は次式で与えられる．

$$x'_{ij} = \begin{cases} 1 & (x_{ij} > \theta) \\ 0 & (0 \leq x_{ij} \leq \theta) \end{cases} \tag{2.5}$$

式（2.4）の外側の ϕ_θ の閾値 θ の値は，連想キーワードベクトル $\mathbf{R}$ の要素のうちで値が 1 となる要素が m_u 個以下になるように，想起毎に決定する．

会議参加者達が共通にもつ知識分野とは異なる知識分野の記事群を用いて連想辞書 $\mathbf{M}$ を構築することにより，連想キーワードベクトル $\mathbf{R}$ に隠れた関連性がとりこまれる．

2.3.2.3 データベースマネージャと記事データベース

データベースマネージャは，知識構築フェーズでは，入力された記事キーワードベクトル $\mathbf{K}_j$ と記事 A_j を対応づけて記事データベースに登録する．

システム利用フェーズでは，連想キーワードベクトル $\mathbf{R}$ と，記事データベース中の各記事キーワードベクトル $\mathbf{K}_j (j = 1 \sim n)$ との類似度 r_j を以下の演算によって求める．

$$r_j = \frac{\mathbf{K}_j^t \cdot \mathbf{R}^t}{\sum_{\delta_i \in \mathbf{R}} \delta_i} \times \frac{\mathbf{K}_j^t \cdot \mathbf{R}^t}{\sum_{\delta_i \in \mathbf{K}_j} \delta_i} \tag{2.6}$$

ここに，演算子 “$\cdot$” はベクトルの内積を示す．

データベースマネージャは利用者ごとの提供情報履歴をもつ．これは過去に記事データベースからどの記事をどの利用者に提供したことがあるかのリストである．データベースマネージャはこのリストを参照し，利用者に対して過去に一度も提供したことがない記事のうち最も高い類似度をもつ記事を提供する．

2.4 実験

2.3節で述べた実験システムと，比較のための 2 種類の情報検索システムを用いて主観評価実験を行なった．ここで行なう実験は，門外漢モデルの中核部分である「異質性の導入」の過程が期待通り有効な異質性の導入機能をもつかどうかを調べることを目的としている．

2.4.1 実験手順

この実験では，現代用語の基礎知識'93 年電子ブック版（自由国民社）の記事を使用して連想辞書と記事データベースを構築した．実験で使用した記事の数は 10406 であった．各記事からキーワードとして採用したのは，普通名詞，固有名詞，形容名詞，サ変名詞，人名，住所名，日時，未知語である．一つの記事から採用する最大キーワード数 m_u は 50 とした．全記事を処理して得たキーワードの総種類数 m_T は 37502 であった．

実験では，まず下に示すテキストをある会議参加者の発言としてシステムに入力する．

> 最近，グラフィクスワークステーションの高速化に伴って，仮想的な世界（仮想空間）をコンピュータによって作り出して利用しようとする研究が活発になってきている．仮想空間は，3 次元世界をモデルによってつくり，表示装置や音響装置を駆使して利用者の周囲に，その世界があるがごとくに再現したものである．再現される世界は，全く架空のものでも遠隔地で実際に起きている状況でも構わない．様々な利用形態が考えられており，車の運転や飛行機の操縦を模擬体験で訓練できるシミュレータ，高速な通信網と組み合わせて遠隔地の人々が一堂に会したかのような感覚で会議や作業ができる臨場感通信会議システム，ロボットの遠隔操作と組み合わせたテレイグジスタンス等はその代表例である．

これは文献 [114] の「はじめに」の記述そのままである．この入力に対して次の 3 種類のアルゴリズムを使用して，各アルゴリズムにつき 5 記事ずつ抽出する．

門外漢アルゴリズム 2.3節で述べた実験システム．

直接アルゴリズム 門外漢アルゴリズムから連想記憶モジュールを削除したもの．つまり発言キーワードベクトルと，記事データベース中の各記事キーワードベクトルとから直接に類似度を求める．

ランダムアルゴリズム 発言とは全く無関係に，記事データベース中からランダムに記事を取り出すもの．

これらのアルゴリズムを用いて上記入力から記事を抽出した結果，門外漢アルゴリズムと直接アルゴリズムとで 1 個だけ同一の記事が抽出されたが，その他はすべて相異なる記事であった．したがって各被験者には 14 記事が渡された．

被験者は，仮想現実感技術に関する研究者 24 人である．したがって，被験者のもつ知識分野の違いに起因する関連性・異質性の評価のばらつきは小さいと思われる．記事はハードコピーとして被験者に順不同で渡される．どの記事がどのアルゴリズムによって抽出されたかは被験者には知らされない．

被験者には，提供された記事を読んでその内容と入力テキストとを比べて以下の二つの視点から各記事を主観的に評価する課題を与える．

1. 関連性：提示された記事が，発言とどの程度関連していたか． 0: 無関連， 10: 密接に関連，として 11 段階で評価する．

2. 意外性：入力テキストから，提示されたような記事が提供されることをどの程度予測できなかったか． 0: 十分予測可能， 10: 予測不可能，として 11 段階で評価する．

評価は，まず提供されたすべての記事について，すばやく直観的に上記二つの点についての評価をしてもらう．第 1 回目の評価が終わった後，次のような条件付けを行い，関連性の程度についてのみ第 2 回目の評価を行ってもらう．

> あなたは，あなたの同僚研究者および 1 人の門外漢とともに通信会議システムについて議論しています．先ほどの実験で提示したした入力文は，実は同僚の 1 人の発言であり，これに対して門外漢が関連情報として提示したのが，先ほどの実験で関連性を評価してもらった個々の記事です．この状況を考慮して，再度入力テキストと各記事との関連性を，先ほどの実験と同じ方法で評価してください．

なお，この実験でこれら二つの評価値を用いるのは， 2.2.1項で述べた情報空間の分類（図 2.1）との関連を次のように考えるからである．

直観的には，関連性と意外性とは相反する性質であり図 2.4の分布図に示す直線 l に沿った領域にのみ評価結果が分布すると予想するかもしれない．しかしながら，実際には次で述べるように，関連性と意外性とが同時に高く評価される情報も存在しうる．

情報空間の分類（図 2.1）で「関連認識可能領域（領域 2）」に含まれる情報と与えられたテーマ T との関連性に，被験者は情報が提供された時に気づくので関連性を高く評価する．しかしその情報は， T が与えられた段階では想起されておらず，提供されてはじめてその関連性に気づくので意外性も同時に高く評価する．すなわち，図 2.1の領域 2 に関連性と意外性とが同時に高く評価される情報があり，これは図 2.4の領域 B に対応する．

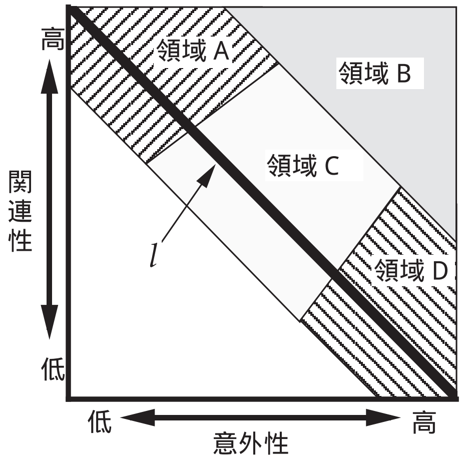

図 2.4: 評価結果の分布領域の分類

直線 l に沿った領域も関連性の強さによって大きく三つに分割することができ，情報空間の分類との関係は，図 2.4の領域 A,C,D にはそれぞれ図 2.1の領域 1,3,4 が対応すると考えられる．ただし客観的な関連があっても，必要な知識の欠如により本人は関連性の説明を聞くまでその関連性に気づけない場合があり，そのときは本来領域 3 に属する情報も領域 D にあたる評価を得ることになる．したがって，実験システムが提供する情報が図 2.4の領域 B,C,（一部 D）に分布すれば，そのシステムは発散的思考を刺激する効果のある情報を提供する機能があるものとみなせる．

なお，直線 l の左下の，関連が弱いのにそんな情報が提供されることが予測できた（すなわち意外でない）情報というのは想定し難く，この領域に分布する情報はないであろう．

2.4.2 結果

2.4.2.1 中間的関連性と意外性をもつ情報の抽出能力の検証

図 2.5に示すのは，第 1 回目の評価結果に基づき，各アルゴリズムにおける関連性，意外性それぞれの評価値の平均を被験者毎に求めた分布である．また，表 2.1に，同じく第 1 回目の評価結果に基づく，それぞれのアルゴリズムにおける関連性評価値の全平均と分散，ならびに意外性評価値の全平均と分散，および相関係数を示す．

いずれのアルゴリズムについても関連性と意外性とは強い負の相関を示し，評価結果は対角方向の直線 l に沿って分布している．しかし，アルゴリズムによってデータの分布する領域は明確に異なり，直接アルゴリズムと門外漢アルゴリズム，および門外漢アルゴリズムとランダムアルゴリズムとの間では，関連性，意外性ともに平均値は有意に差があることが，t 検定によって確認された．

図 2.6に示すのは，第 1 回目の評価結果に基づき，各アルゴリズム毎に関連性およ

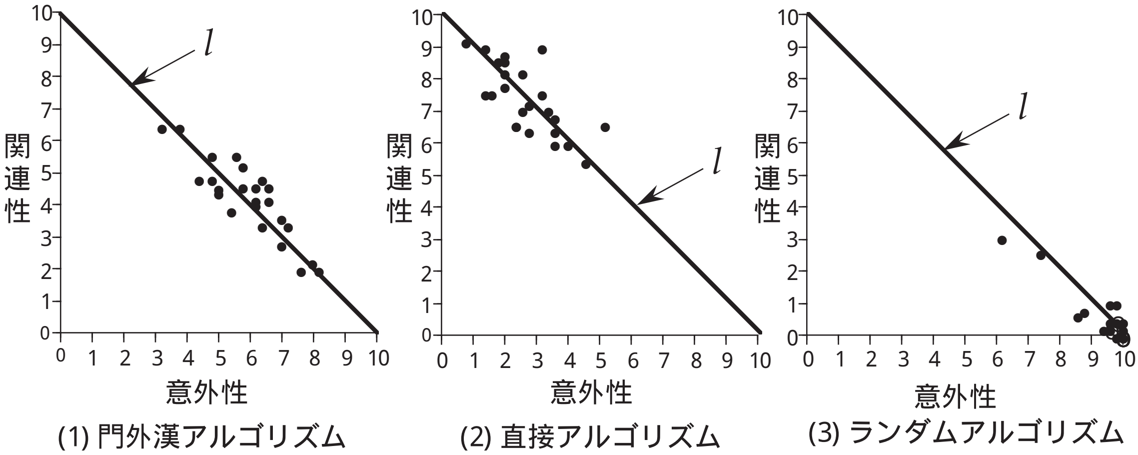

図 2.5: 被験者ごとの評価値の平均の分布

表 2.1: 被験者ごとの評価値の平均に関する統計値

アルゴリズム	関連性		意外性		相関係数
	平均	分散	平均	分散	
直接	7.425	1.067	2.708	1.044	-0.715
門外漢	4.242	1.185	5.967	1.236	-0.866
ランダム	0.475	0.768	9.492	0.904	-0.923

び意外性のそれぞれについて求めた度数分布（図中のプロット点）と，これを平滑化した結果（図中の線）である．平滑化は，評価値 i の点の平滑化度数 $\tilde{h}(i)$ を次式で求めることによって行なっている．

$$\tilde{h}(i) = \begin{cases} \frac{h(i-1)+h(i)+h(i+1)}{3} & (2 \leq i \leq 8) \\ h(i) & (\mathrm{otherwise}) \end{cases} \tag{2.7}$$

ここに，$h(i)$ は元データの評価値 i における度数である．以下では，この平滑化したデータに基づいて考察を行う．

図 2.6において，門外漢アルゴリズムの結果は，ほかのいずれのアルゴリズムの結果よりも中間的な評価結果の領域（評価値 2 ~ 8）で全般に高い度数に位置していることがわかる．また，門外漢アルゴリズムの結果（太実線）と，直接・ランダムアルゴリズムの平均の結果（細実線）とは，分布形状は凹型で類似しているが，やはり中間的評価結果の領域で門外漢アルゴリズムの方が全般に高い度数に位置している．

以上の結果から以下のことがわかる．

1. 門外漢アルゴリズムによって中程度の関連性と意外性をもつ情報が多く獲得される．
2. 直接アルゴリズムによって関連性が高く意外性が低い情報が多く獲得される．
3. ランダムアルゴリズムによって関連性が低く意外性が高い情報が多く獲得される．
4. 直接アルゴリズムとランダムアルゴリズムを組み合わせても，門外漢アルゴリズムと同等の中間的関連性・意外性をもつ情報の獲得特性は得られない．

2.4.2.2 関連性と意外性がともに高い情報の抽出能力の検証

次に，図 2.1の領域 2 に含まれる情報の抽出可能性を検証する．図 2.7に示すのは，第 1 回目の評価結果に基づく，各アルゴリズムにおける，全被験者による個々の記事に対する評価結果の散布図である．ただし評価結果はすべて図の格子点上にプロットされるため，同一格子点上にプロットされた点の数を，円の面積によって示した．表 2.2は，全評価結果点と直線 l との間の平均距離 $\bar{d}$ と標準偏差 s，および各アルゴリズムについて直線 l から右上方向に $\bar{d} + 2s$ 以上の距離を離れて存在する点の数を示す．ただし，評価点と l との距離の分布形状が歪度の高いものとなっているため，表 2.2での各統計値は元データに開平変換を施して分布を正規分布に近いものにして求めたものである．

正規分布を仮定すると，平均値から標準偏差の 2 倍以上離れた領域に分布するデータ数は，片側で全体の 2.2% 程度である．今回の実験では観測点は各アルゴリズムについて 120 あるので，およそ 2 ないし 3 個の観測点がこの領域に含まれるはずであ

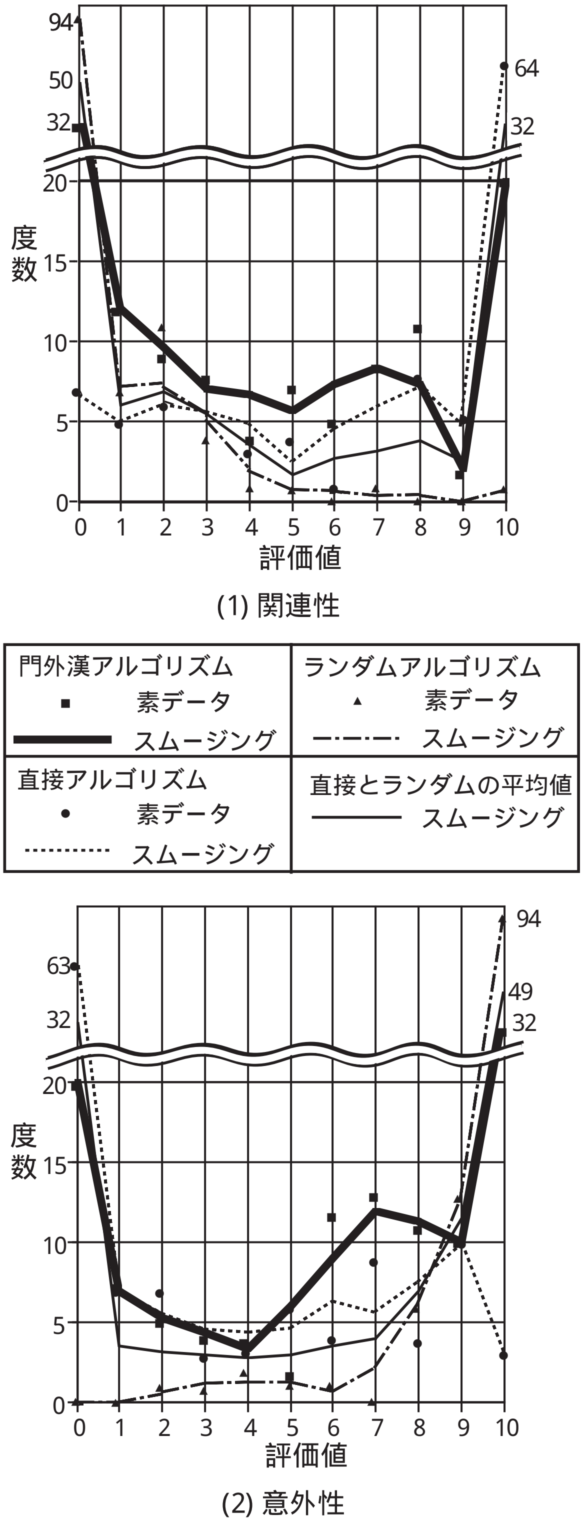

図 2.6: 関連性および意外性の各評価値における度数分布

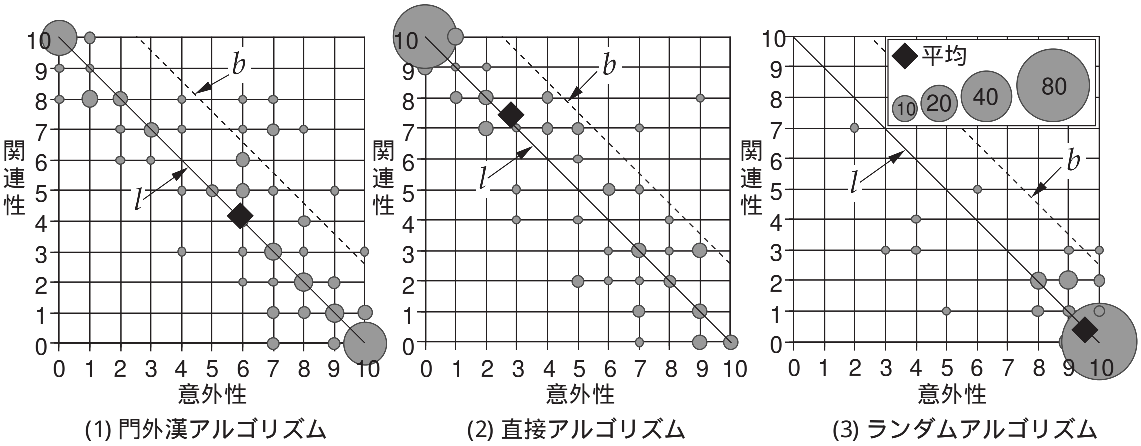

図 2.7: 全評価結果の散布図

表 2.2: 図 2.4の領域 B に含まれる評価結果数

平均距離 $\bar{d}$	0.896		
標準偏差 s	0.310		
l より $2\bar{d}+s$ 以上	門外漢	直接	ランダム
離れている点の数	8	2	1

る．ここで表 2.2を見ると，門外漢アルゴリズムでは推測の約 3 ~ 4 倍，直接アルゴリズムの 4 倍である 8 点（全体の 6.7% のデータ）がこの領域に含まれている．

図 2.7および表 2.2の結果は，関連性も意外性も同時に高い情報が門外漢アルゴリズムによって効率的に得られる可能性を示唆している．

2.4.2.3 隠れた関連性をもつ情報の抽出能力の検証

図 2.8に，第 2 回目の評価において，同一の記事に対する関連性の評価が，第 1 回目の評価よりも 1 以上増加した記事の数を示す．また，表 2.3には，2 回目の評価での関連性の評価値の増分の総和を，各アルゴリズム毎に示す．アルゴリズム α における関連性増分の総和 $TRI^{(\alpha)}$ は，次式で求める．

$$TRI^{(\alpha)} = \sum_i \sum_j (D_{ij}^{(\alpha)} - R_{ij}^{(\alpha)}) \tag{2.8}$$

ここに，$D_{ij}^{(\alpha)}$ は第 2 回目の評価における，被験者 i によるアルゴリズム α が抽出した記事テキスト j に対する関連性の評価値，$R_{ij}^{(\alpha)}$ は，第 1 回目の評価における，被験者 i による同一の記事テキスト j に対する関連性の評価値である．

図 2.8に示す通り，関連性が増加する記事の数は，増分 4 の場合を除きその他すべての増分において門外漢アルゴリズムを用いた場合が最大となっている．また，表

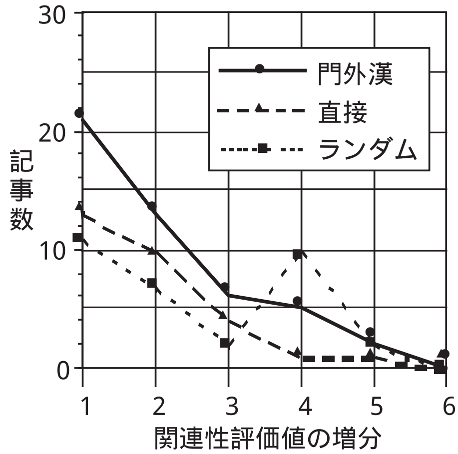

図 2.8: 1 回目の評価より関連性の程度が 1 以上増加した記事の数

表 2.3: 第 2 回目の評価における関連性の増分の総和

アルゴリズム	門外漢	直接	ランダム
TRI_α	107	54	81

2.3に示すように，関連性の増分の総和も門外漢アルゴリズムを用いた場合が最大である．

ランダムアルゴリズムを用いた場合に提示された記事テキストのほとんどは，もともと非常に関連性が低いため，逆に関連性が増加できる余裕は最も大きい．したがって，ランダムアルゴリズムで抽出される記事が，関連性を最も大きく増加させる可能性をもつ．しかしながら，実際には門外漢アルゴリズムによる場合が，最も関連性の増分が大きい．

この関連性の増加は，「隠れた関連性」に由来すると考えられる．すなわち，被験者は第 2 回目の評価における条件付けによって「関連性がある」ことを前提に各記事の関連性を探し，その程度を判断している．この過程で直観的には見えにくかった関連性を発見したことにより，第 2 回目の評価で関連性が増加したものと考えられる．

2.4.3 考察

門外漢アルゴリズムが以上のような情報抽出特性をもつ理由として，次のような説明が考えられる．

直接アルゴリズムでは，抽出される記事は入力された発言の元意語群に含まれる語だけを使用して得られる．つまり類似度が高い記事にはそれらの多くが含まれるので，関連性が非常に直接的かつ明示的な形で現れる．したがって被験者はこのような記事に高い関連性を容易に見いだし，意外性を感じにくい．逆に類似度が低い記事

では，そのなかに含まれる，入力の元意語群中の語の数が単純に少なくなるだけである．このため類似度の低い記事では一般に関連性が低下すると同時に意外性が増していく．この結果，直接アルゴリズムを用いると抽出された記事は基本的に直線 l に沿って分布するようになる．

一方，門外漢アルゴリズムでは再構成語群を用いて記事の検索を行うので，記事は元意語群に含まれていた語のみならず，それらの語から連想的に得られた語によっても抽出される．つまり，類似度の高い記事であっても，元意語群に含まれる語自体が多く含まれるとは限らないので，その関連性は必ずしも直接的・明示的な形では現れない．このため被験者は門外漢アルゴリズムで得られた類似度が高い記事についてもその関連性を見いだすことが直接アルゴリズムの場合よりも難しくなる．この結果，門外漢アルゴリズムで得られる記事への評価結果は，直接アルゴリズムで得られるものよりも関連性が低く意外性が高いものとなる．しかし実際には，このような情報にも連想的に得られた語によって導入される「隠れた関連性」が含まれている．この隠れた関連性が「ふと気にかかる」関連として感じられるので，関連性と意外性が中程度であるという評価が増える．

さらに，ある被験者がその情報が提供されたときにこの隠れた関連性にはっきりと気づき，しかもそのような関連があることにそれまで気づいていなかったならば，その被験者はその情報が関連性が高いと評価すると同時に意外性も高く評価する．それゆえ，門外漢アルゴリズムによって散布図の右上に位置する情報が抽出できる可能性が出てくると思われる．この情報は「隠れた関連性」の存在によってはじめて得られるものであり，隠れた関連性の導入の機能をもたないほかのアルゴリズム（直接アルゴリズムやランダムアルゴリズム）ではこのような情報を得ることは難しい．

このように，単純に異分野の記事を集めただけでは，異なる視点からの情報獲得を実現するには不十分であり，それらの記事群全体の情報分野・傾向を表現した鳥瞰的情報をもち，これを視点として情報抽出を行うことが必要である．門外漢モデルでは，連想辞書がこの視点の役割を果たしている．

2.5 おわりに

以上，発散的思考支援を目的とした，連想記憶を用いた情報検索による関連性と異質性とを併せもつような情報の抽出手段について検討した．ある思考のテーマを中心とした客観的 / 主観的基準による情報空間の分類から，「隠れた関連性」をもつ情報が発散的思考の支援に有効であると結論し，この隠れた関連性が「有効な異質性」であると定義した．さらに，有効な異質性をもつ情報の抽出メカニズムとして，関連性の導入過程，異質性の導入過程，情報の抽出過程の 3 過程からなる「門外漢モデル」を提案し，このモデルに基づく実験システムを構築した．この実験システムを用いて被験者実験を行い，システムが提供する情報を関連性と意外性の二つの視点から主観

的に評価することによって，その情報が有効な異質性を含むかどうかを評価した．この結果，以下の結論を得た．

1. 門外漢モデルによって，中程度の関連性・意外性をもつ情報を効率的に抽出できる．このような情報は隠れた関連性を含んでいる．
2. 門外漢モデルによって，関連性と意外性が共に高い情報をも効率的に抽出できる可能性が示唆された．このような情報は既知の関連性を見落としていたもので，固定観念の直截的な打開効果をもつ．
3. 有効な異質性は，門外漢モデルの「異質性の導入過程」によって導入されたと考えられる．

第 3 章

異質性を含む情報の発散的思考への影響

3.1　はじめに

第 2章では，与えられた思考のテーマに対して関連性と異質性とを併せもつ情報を抽出する手段について検討した．その結果，そのような手段の一つとして，連想検索を応用することによって門外漢の情報抽出過程を模擬する，門外漢アルゴリズムを提案した．この手法では，ある情報断片群がもつそれらの情報の分野や傾向に基づき，入力される文章の内容を再把握する．すなわち，この手法によって導入される異質性は，外部知識から導入される関連性である．

しかしながら，異質性，すなわち隠れた関連性は，常に外部知識のなかだけに存在するわけではない．たとえば，自分達が既になした対話自体のなかにもしばしば存在する．また極端な場合には，自分が知っていることを列挙して検討してみることなどにより，今まで気づいていなかった関連性を自分の手持ちの知識のなかに発見することすらある．したがって，異質性（隠れた関連性）の導入ないし発見のためには，外部知識だけに着目するだけでは不十分であり，自分（達）が既にもつ知識自体を再検討することが不可欠である．

そこで本章では，まず対話の話題構造を獲得することにより，個々の話題相互の間に隠れた関連性を見いだす手法を提案する．さらにこの手法と，第 2章で提案した外部知識からの異質性導入手法とを組み合わせて 4 種類の情報検索手法を実装し，これを人間による実際のブレインストーミングの場に適用する実験を行うことにより，異質性をもつ情報が本当に人の発散的思考に影響するのか，影響するならばどのように影響するのかを検証する．加えて，ブレインストーミングの進行状況に応じてどのような情報をどのようなタイミングで提供することがより効果的であるかについての知見を得る．

なお，本研究ではこの情報提供システムを，人間と対等な一種の擬人的なエージェントとして，人によるブレインストーミングの場に参加させている．そこで以下では，本システム（エージェント）を “Conversationalist”（以下本章では，Conv. と

略記する）と呼ぶことにする．

以下，3.2節では，対話の話題構造の獲得手法と，それを用いた話題間の関連性の獲得手法を中心として，Conv. の構成および動作の概要について説明する．3.3節では，実施した被験者実験の内容と手順，およびその結果を示す．3.4節では，3.3節で示した実験結果に基づき，Conv. の発散的思考に対する影響について検討するとともに，Conv. の対話への介入タイミングについても考察する．3.5節では，関連研究について簡単に概観する．3.6節はむすびである．

3.2 情報提供エージェントの構成

3.2.1 情報提供エージェントのモジュール構成

図 3.1に，Conv. のモジュール構成を示す．現在の実装では，対話はすべてキーボードからの文字入力で行われる．すなわち Conv. への入力は，テキストデータ形式での，対話参加者による個々の発言である．順次入力されるテキスト形式の個々の発言文を，それぞれ 1 個の発言オブジェクトと呼ぶ．まず発言文処理モジュールは，入力された発言オブジェクトを解析し，重み付きキーワードを抽出する．発言オブジェクトとそのキーワード群は対話構造化モジュールに入力される．ここで統計処理を用いた思考空間の構造化手法によって，各発言オブジェクトおよびキーワードを 2 次元空間上に順次配置していく．ついで，検索キーワード抽出モジュールによって，この空間上から情報検索に使用するキーワードを重み付きで選出する．こうして得られた検索キーワードを用いて，情報検索モジュールは，指定された手法によって，手持ちのデータベースから情報を検索抽出する．得られた情報は，Conv. の発言として対話中に投入される．情報の投入のタイミングは，情報提供タイミング判定モジュールで決定される．以下，各モジュールの詳細について述べる．

3.2.1.1 発言文処理モジュール

入力された各発言文は，まず単語に分割され，形態素解析によって各単語の品詞が決定される．ついで，名詞および品詞を決定できなかった語のみを取り出し，この語群をその発言文のキーワードとする．第 n 発言文におけるキーワード w_i の重み $W_{w_i,n}$ は，次式によって求める.

$$W_{w_i,n} = \frac{(1+\frac{1}{1+e^{-f_{w_i,n}+F_l}})(1+\frac{1}{1+e^{-i_{w_i,n}+I}})}{(1+\frac{1}{1+e^{-f_{w_i}+F_g}})^2} \quad (3.1)$$

ただし，f_{w_i} は第（$n-1$）発言オブジェクトまででキーワード w_i がいくつの発言オブジェクトに出現したか，$f_{w_i,n}$ は第 n 発言オブジェクトにキーワード w_i がいくつ現われたか，$i_{w_i,n}$ は，キーワード w_i が第 n 発言オブジェクトの何発言前に最近使用されたかを示す．また，F_l, F_g, I は定数であり，経験的にそれぞれ 5,1,10 の値を与える．

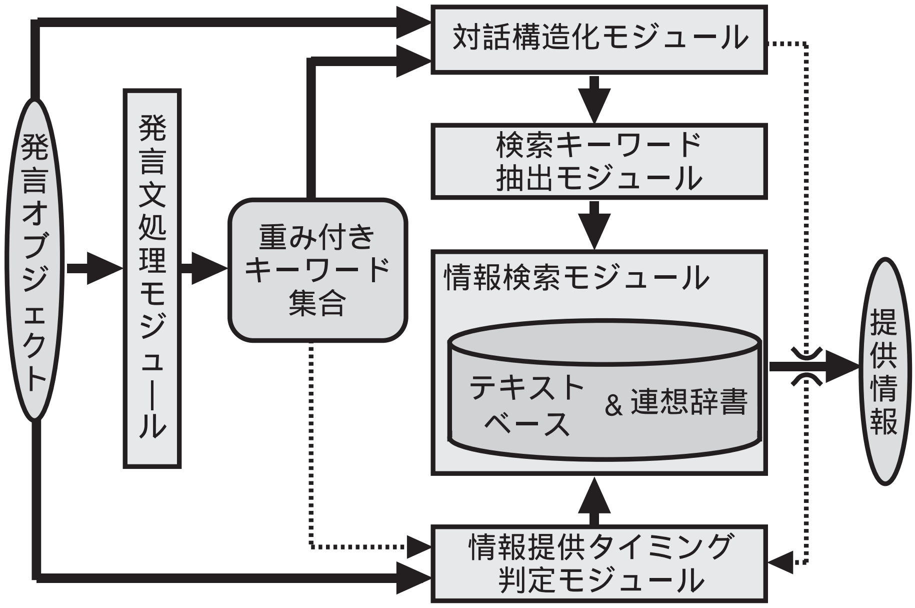

図 3.1: 情報提供エージェント Conv. のモジュール構成

このような重みづけとした理由は，

1. 出現頻度が高いキーワードは

   - どんな対話でも一般的に使用される語，
   - その対話の大局的話題にかかわる語，

   のいずれかであり，いずれにせよ局所的な話題構造の把握における重要度は低い．もしこのような語が大きな重みをもつと，後で述べる話題の構造化段階において各話題クラスタを不明瞭にしてしまう可能性がある．

2. 1 発言中に多数出現する語はその発言での重要度が高い．

3. 高頻度語であってもしばらく使用されなかった後に使用される場合は重要度が高い．

という考えに基づく

3.2.1.2 対話構造化モジュール

話題空間の構成には，角らによる思考空間の可視化手法を使用した [105]．この手法では，双対尺度法 [81] と呼ばれる統計手法を応用して，概念と概念素の関連性を表現する空間を構成する．双対尺度法とは，複数の数量化属性で構成されたオブジェクト集合が与えられたときに，オブジェクト集合と属性集合にそれぞれ得点数量を与えることによって，オブジェクト同士の属性共有性と属性同士の共起性を空間における相対的な位置関係として表現する手法である．

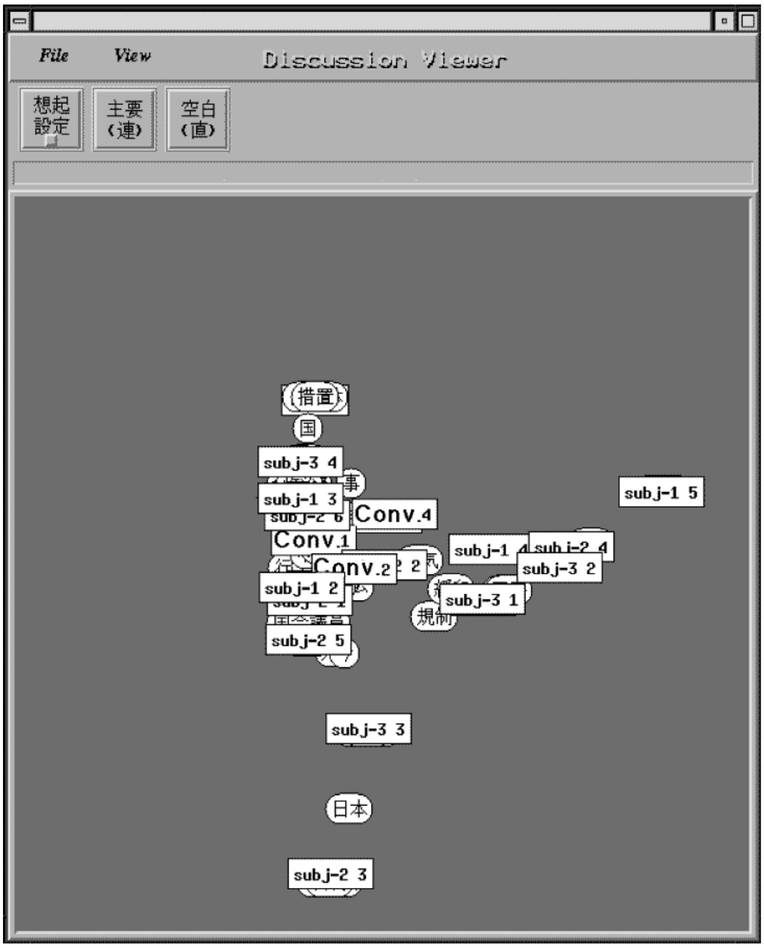

図 3.2: 話題空間の例

本研究では，発言文処理モジュールによって抽出されたキーワードを発言オブジェクトの属性と考え，各キーワードの重みを属性値として双対尺度法を適用した．これによって，各発言オブジェクトと各キーワードとの関連性が一つの空間上に表現された，話題空間が構築される．話題空間上では，基本的にキーワードを多数共有する発言オブジェクト同士は近くに配置される．また，複数の発言オブジェクトに共有されるキーワードは，それらの発言オブジェクトの間に配置される．図 3.2に，話題空間の例を示す．図中，発言オブジェクトは長方形のアイコンで，キーワードは長円形のアイコンで示される．この例における対話では，3 人の利用者（subj–1 ~ subj–3 と表記）の発言と，Conv. の提供情報が配置されている．また，利用者名の後ろの数字は，その利用者による何番目の発言であるかを示す．

3.2.1.3 検索キーワード抽出モジュール

対話構造化モジュールによって構成された話題空間上に配置されたキーワード群から，本モジュールは情報検索のために用いるキーワードを選出する．

話題空間には，一般にいくつかの発言オブジェクトの集合で構成されるいくつかのクラスタが配置される．相互に関連性の高い発言オブジェクトほど相互に近い位置に配置されるというこの構造化手法の特徴から，各クラスタが 1 個の局所的話題を構成していると見ることができる．したがってこの話題空間によって，現在の対話は，どのような部分話題で構成されているか，中心的な話題は何かを知ることができる．さらに，思考空間の可視化手法に関する被験者実験から，被験者はしばしばクラスタとクラスタの間の間隙，あるいはクラスタがない空白領域に注目し，それらの空白部分から新たなテーマを発見したり，さらなる議論の必要性を感じたりするという結果が得られている．したがって，話題空間上の空白領域を検出することで，新たな話題が展開する方向を見出すこともできると考えられる．

そこで，本モジュールは，まず話題空間を 16×16 のセルに分割する．各セルは，そのセルを中心とする 9 個のセルに含まれる発言オブジェクトの個数の平均を重みとしてもつ．重みが周辺のセルよりも重い，極大値をとるセルを主要話題のセルとみなす．このセルを話題中心と呼ぶ．一方，ユークリッド距離変換手法 [29] を用いて，重みがゼロの各セルについて，重みがゼロでないセル群の領域境界，および 2 次元空間の最外端からの距離を求める．この結果，ある閾値以上の距離を離れている重みがゼロのセル群が存在する場合，これを話題の空白領域とみなし，空白領域外端から最も離れている重みゼロのセル（同じ距離のセルが複数ある場合はその重心）を，その空白領域の中心とみなす．このセルを空白中心と呼ぶ．図 3.3に，図 3.2に示した話題空間について以上の処理を行い，話題中心と空白中心を検出した例を示す．図中，“T” で示されるのが話題中心，“E” で示されるのが空白中心である．また，白いセルは重みがゼロのセルで，灰色のセルは重みが非ゼロのセルであり，色の濃いセルほど重みが重い．

こうして得た，話題中心と空白中心を用いて，情報検索モジュールで用いられる検索キーワードを話題空間上から選出する．検索キーワードの選出は，話題空間上で，ある 1 個の話題中心ないし空白中心に近いものから順に一定数（本章の実験システムでは，最大 50）のキーワードを集め，検索キーワード群 W を構成することによって行う．キーワード w_j の重み I_{w_j} は次式で与える．

$$I_{w_j} = \frac{\min\{d_{w_i}; w_i \in W\}}{d_{w_j}} \tag{3.2}$$

ただし，d_{w_j} は，話題空間上での話題中心ないし空白中心とキーワード w_j との幾何的距離である．

3.2.1.4 情報検索モジュール

本モジュールは，検索キーワード抽出モジュールが抽出した重み付き検索キーワード群をもとに検索キーワードベクトルを生成し，これを用いてあらかじめ準備された

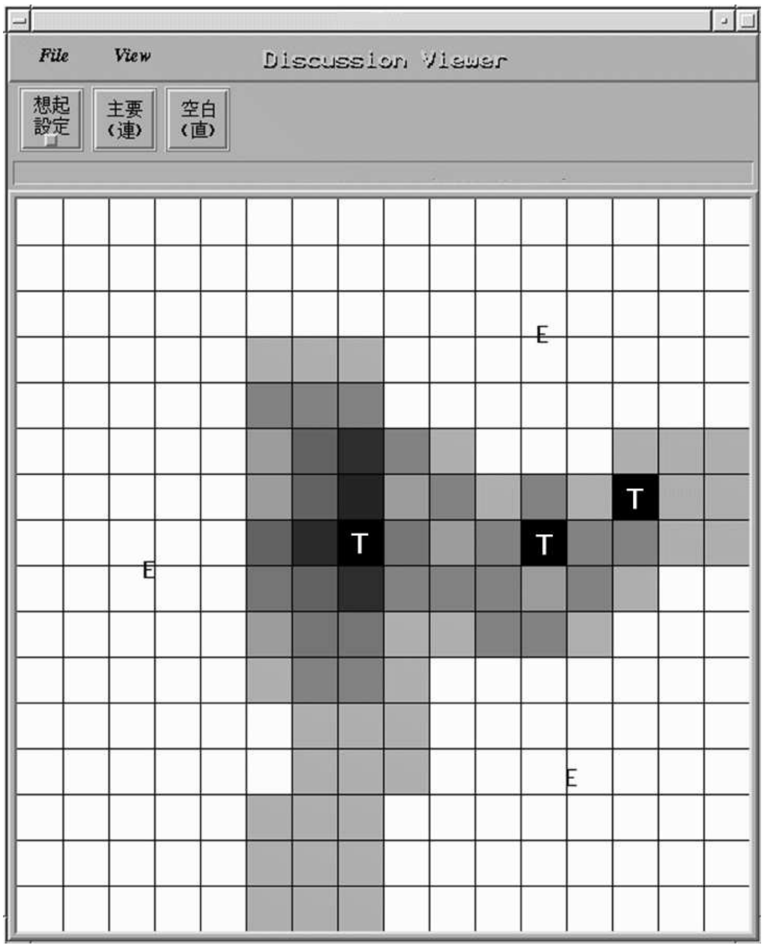

図 3.3: 話題空間の分析例

テキストベースから情報検索を行う．検索手法は，直接検索と連想検索の 2 種類が準備されている．

直接検索では，検索キーワードベクトルと，テキストベース中の各テキストオブジェクトのキーワードベクトルとの内積を求め，最も値の大きいテキストオブジェクトを出力する．すなわち，この検索手法は第 2章で示した直接アルゴリズムにあたる．

連想検索では，あらかじめ準備してある連想辞書を用いて，検索キーワードベクトルを連想的に変換し，連想キーワードベクトルを得る．この連想キーワードベクトルと，テキストベース中の各テキストオブジェクトのキーワードベクトルとの内積を求め，最も値の大きいテキストオブジェクトを出力する．すなわち，この検索手法は第 2章で示した門外漢アルゴリズムにあたる．

なお，3.3節で示す実験では，テキストベースには自由国民社の現代用語の基礎知識 1997 年版の記事約 20000 件を用いた．また，連想辞書も同じデータから構築した．連想辞書に採用されたキーワードの数はおよそ 60000 であった．

3.2.1.5 情報提供タイミング判定モジュール

本モジュールは，第 4章で示す，自由対話の話題転換点の無遅延的検出技術を応用することによるタイミング判定も行えるが [79]，3.3節で示す実験では，単純に，利用者（被験者）が入力する発言オブジェクトの数のみを判断材料とし，Conv. 動作時は，常に発言オブジェクトが 3 個入力されるたびに情報の投入を指示する．

3.2.2 4 種の情報検索手法

本章で用いた実験システムでは，検索キーワード抽出手法と情報検索の手法の組合わせにより，次の 4 種の情報検索手法を準備した．

話題直接検索 話題中心を用いて得た検索キーワードベクトルを用いて，直接検索を行う．

話題連想検索 話題中心を用いて得た検索キーワードベクトルを用いて，連想検索を行う．

空白直接検索 空白中心を用いて得た検索キーワードベクトルを用いて，直接検索を行う．

空白連想検索 空白中心を用いて得た検索キーワードベクトルを用いて，連想検索を行う．

これらの 4 種類の手法は，それぞれに性質の異なる情報を抽出すると考えられるが，対話内容と抽出情報との関連性という性質に着目した場合，話題直接検索が抽出する

情報の関連性が最も強く，以下，空白直接検索，話題連想検索，空白連想検索の順に関連性が弱くなると予想される．その理由を以下説明する．

まず，話題中心を用いたキーワード選出では，話題空間上のある単一の話題中心を取り巻くキーワードが得られるため，その話題中心に関係する話題との関連性が強くかつ明白な検索キーワードベクトルが得られる．一方，空白中心を用いた場合，キーワードは通常，対話中の複数の局所話題にまたがって選出される．この結果，検索キーワードベクトルは，それらの複数の話題にまたがる関連性をもつものとなる．大局的には 1 個の話題の下でなされている対話であっても，そのなかの局所話題相互の関係は必ずしも常に明白かつ密接であるとは限らず，見逃されている関係，すなわち 3.1節で指摘した，既知情報のなかにある隠れた関連性が存在する可能性がある．このため，空白中心を用いて得られる検索キーワードベクトルは，話題中心を用いて得たものよりも，やや対話内容との関連性が不明瞭になると思われる．

直接検索では，話題空間上に存在するキーワードがそのまま検索に使用される．その結果，抽出される情報には，それらのキーワードがいくつかそのまま含まれることになるため，得られる情報と対話内容の関連性は見え易い．一方，連想検索では，連想変換されたキーワードが検索に用いられるため，抽出される情報に話題空間上に存在したキーワード自体が含まれる量は減少し，極端な場合には全くなくなることもありうる．このため，連想検索による抽出情報と対話内容の関連性は見えにくいものとなる[1]．

ここで空白直接検索と話題連想検索は境界領域となるが，抽出される情報に，話題空間上に存在するキーワードがより多数そのまま含まれる可能性が高いことから，前者の方が関連性の高い情報を抽出すると考えられる[2]．以上の理由により，4 種類の情報検索手法で得られる情報の，対話内容との関連性の強さは，上で述べた順序になるものと予想される．

なお，たとえ関連性が最も弱くなると思われる空白連想検索を用いた場合であっても，抽出される情報と対話内容との関連性が皆無となるわけではない．検索キーワードは，話題中心と空白中心のいずれを用いるにせよ，対話内容と関連性があるキーワードが得られることは言うまでもない．また，連想検索で用いる連想辞書は，その辞書を構築するもととなった情報の知識ドメインに基づく視点を表す情報となる．したがって，連想変換されたキーワードベクトルには，この知識ドメインからの関連情報が導入されることになるが，連想キーワードベクトルは，あくまでもとの検索キーワードベクトルから連想されたものであるから，対話内容に由来する関係も依然保たれているはずである．したがって，連想検索で得られる情報も全く無関係なものにな

[1]検索手法による抽出情報の特性の差の詳細な議論については，第 2章を参照されたい．

[2]ただし，これはあくまでも一般的傾向の予測であり，場合によっては順序が逆転する場合もあるだろう．たとえば，対話内容と極めて一致した知識分野に限定して構築された連想辞書を用いれば，話題連想の方が空白直接よりも，極端な場合には話題直接よりも，対話内容との関連性が高い情報を抽出する可能性もあると思われる．

るわけではない．すなわち，たとえばランダム検索などで得られる，完全に無関係な情報とは異なり，「隠れた関連性」をもつ情報であると言うことができる [75]．

3.3 実験と結果

Conv. の有無，および 3.2.2項で述べた 4 種類の情報検索手法が発散的思考を意図した対話に与える影響を検証するために，被験者実験を行った．

実験は，3 人の被験者から成るグループ 5 組（$G_1 \sim G_5$），のべ 15 人によって行われた．15 人の被験者は，すべて同じ大学に所属する学生であり，パソコンを使用して日本語文書の作成が滞りなく行え，電子メールの使用経験があることを条件に募集した．

被験者には，キーボードベースでのオンライン・チャット・システムに Conv. を組み込んだ実験システム[3]を提供した．このシステムは UNIX ワークステーション上に実装されているが，ほとんどの被験者が UNIX の使用経験がなく，Mule や Nemacs 上で wnn 等を使用して日本語文章を作ることは困難と思われたため，発言の入力には，電子メールによる発言の受信機能を使用した．この機能は，システムのサーバに割り当てられた特定アドレスにメールを送ると，そのメールの本文の内容がメール発信者の発言テキストとして処理されるものである．被験者は，ノート PC（Windows95）上で日本語文書による発言を作成し，Netscape のメーラを使用して発言内容を送信する．被験者は，発言入力用の PC とは別に提供された UNIX ワークステーション上に表示される発言リストウィンドウを，マウスを用いてスクロールすることで入力された発言を一覧することができる．また，被験者の配置は，対話作業中はお互いに口頭では対話できないし，お互いの姿も見ることができない，分散環境とした．したがって，本実験における対話は，非対面同期的対話となる．なお実験では，対話によって構築される話題空間は，被験者には一切提示されない．

対話の議題は，表 3.1に示す五つである．対話は，基本的にブレインストーミングに準じて行うように指示した．さらに，基本的なブレインストーミングの制約に加え，1 発言あたり 1 アイデアとし，一つの発言に複数のアイデアを盛り込まないように指示した．

システムの動作モードは，表 3.2に示す五つである．M_1 では Conv. は動作しないため，被験者にとって，実験システムは単なるオンラインチャットシステムとなる．$M_2 \sim M_5$ では，Conv. は 3.2.2項で示した 4 種の情報検索手法のいずれか一つを用いて情報の自動検索と提供を行う．情報提供のタイミングは，被験者からの発話入力が 3 個あるたびに行うことにした．すなわち，平均 1 人が 1 発言するたびに Conv. が 1 回動作することになる．これは，Conv. を人間とほぼ対等に扱うことに対応すると言

[3]実際には，第 5章で示す，グループ思考支援環境 AIDE のもつ基本的通信機能と Conv. だけを使用した．

表 3.1: 実験における議題の概略

議題名	議題内容
T_1	自分の大学の学園祭の総合テーマを考案する
T_2	ある電器メーカの調理機器事業部において，「先端技術による顧客要望の充足」という全社コンセプトを具現化する商品を考案する
T_3	行政改革，経済改革を実現するには具体的に何をすれば良いかを考案する
T_4	ある玩具メーカーのイメージ向上，シェア向上を目的とする企業キャッチフレーズを考案する
T_5	先端科学技術を利用した芸術の在り方，あるいは具体的な作品について考案する

表 3.2: 実験システムにおける Conv. の動作モード

<table>
<tr><th>モード名</th><th>情報検索手法</th><th>情報提供タイミング</th></tr>
<tr><td>M_1</td><td colspan="2">不動作</td></tr>
<tr><td>M_2</td><td>話題直接検索</td><td rowspan="4">被験者からの発言が 3 個ある都度</td></tr>
<tr><td>M_3</td><td>話題連想検索</td></tr>
<tr><td>M_4</td><td>空白直接検索</td></tr>
<tr><td>M_5</td><td>空白連想検索</td></tr>
</table>

える．被験者に対しては，各対話におけるシステム動作モードおよび情報提供タイミングに関しては，一切教示しない．ただし，すべての実験において Conv. の動作の仕方が全く異なることは，被験者に教示した．これは，ある実験での Conv. の支援の良否が被験者に心理的影響を与え，その後の実験での Conv. の提供情報の受けとめ方に正または負のバイアスがかかることを極力回避するためである．なお，話題中心を用いた検索キーワード選出を行う際，話題中心が複数存在する場合には，被験者による最新の発言オブジェクトに最も近い話題中心を使用する．また，空白中心を用いた検索キーワード収集を行う場合は，常に各時点における最大の空白の中心を使用する．

表 3.3に，実験における被験者グループ，議題，システムの動作モード，対話実験実施順序の組合わせを示す．1 実験（1 対話作業）あたり 40 分間議論を行い，その後 20 分程度でアンケートに回答してもらう．これを各グループについて 5 回繰り返した．表 3.3に示す通り，各被験者グループにおける最初の実験のシステム動作モードをすべて異なるものとした．これは，前述した Conv. の支援の良否による被験者への心理的影響があるならば，最初の実験の影響が一番大きいと考えられるので，この影響を最終的な評価においてキャンセルするためである（3.4.1項参照）．なお，システ

表 3.3: 対話実験実施順序

実施順序	グループ				
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
1	T_1, M_1	T_5, M_2	T_4, M_3	T_3, M_4	T_2, M_5
2	T_2, M_2	T_1, M_3	T_5, M_4	T_4, M_5	T_3, M_1
3	— *	T_2, M_4	T_1, M_5	T_5, M_1	T_4, M_2
4	T_4, M_4	T_3, M_3^{**}	T_2, M_1	T_1, M_2	T_5, M_3
5	T_5, M_5	T_4, M_1	T_3, M_2	T_2, M_3	T_1, M_4

注）* 実験 $[M_3, G_1, T_3]$ は，システムの障害により実施できなかった．
** この関係で，$[M_5, G_2, T_3]$ を予定していた実験を，$[M_3, G_2, T_3]$ に変更した．

ム動作モード M_2 ~ M_5 における Conv. の情報は，被験者からの 3 個めの発言が各被験者の UNIX ワークステーション上に表示された直後に，ほぼ遅延無く提示された．特に多数の発言がなされた対話では，実験終盤にやや Conv. の情報提供に遅延が見られるようになったが，その場合でも最長でたかだか 5 秒以下であった．これは 3.4.1項でも示す通り，被験者が他被験者からの発言を 1 個読む時間以下であるので，実質的には無遅延であると見なせる．

実験結果を，表 3.4 ~ 表 3.7に示す．表 3.4には，各対話実験における，被験者による発言の総数を示す．ただし，本表では表 3.3とは異なり，被験者グループと Conv. の動作モードに基づいて整理している．“：” の後ろには，各実験における議題名を示す．

表 3.5 ~ 表 3.7は，対話実験後のアンケートに基づく結果である．表 3.5には，各対話実験において Conv. が提供した情報の内容と対話内容との関連性に関する，被験者による主観評価結果を，Conv. の動作モード $M_2 \sim M_5$ について示す．主観評価は，0：全く無関連 ~ 4：密接に関連，の 5 段階で行った．表は，動作モード順ではなく，関連性の高さ順に整理している．t 検定を行った結果，各動作モードにおける平均の差は，M_2, M_4 間および M_3, M_5 間で 1% 水準で有意であり，M_4, M_3 間でも 5% 水準で有意であった．

表 3.6には，被験者が提出した各アイデアに関する，質の主観評価結果を示す．主観評価は，0：全く下らないアイデア ~ 4: 非常にすばらしいアイデアの 5 段階で行った．各被験者は，対話中での全被験者の全発言（自分の発言も含む）個々について，直観的に前記 5 段階の評価を行う．表 3.6に示したのは，各対話におけるこの主観評価結果の平均である．

表 3.4: 各対話実験における被験者の発言数

グループ	Conv. の動作モード					合計	平均
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5		
G_1	38:T_1	48:T_2	—	65:T_4	43:T_5	194	48.5
G_2	14:T_4	10:T_5	8:T_1 14:T_3	15:T_2	—	61	12.2
G_3	25:T_2	25:T_3	18:T_4	28:T_5	21:T_1	117	23.4
G_4	19:T_5	18:T_1	25:T_2	23:T_3	16:T_4	101	20.2
G_5	32:T_3	31:T_4	27:T_5	37:T_1	28:T_2	155	31.0
合計	128	132	92	168	108	628	
平均	25.6	26.4	18.4	33.6	27.0	26.2	

表 3.5: Conv. の提供情報と対話内容の関連性に関する主観評価結果

	Conv. の動作モード			
	M_2	M_4	M_3	M_5
平均	1.95	1.24	0.91	0.56
標準偏差	1.33	1.26	1.07	0.88

表 3.7には，Conv. の情報が直接に影響を与えた被験者の発言の数を示す．アンケートにおいて，各被験者に対し，自分の個々の発言の内容を考案する際に，その発言以前のどの発言（Conv. の情報を含む）を考慮したかを問うた．表 3.7に示したのは，そのうち Conv. の情報を考慮したと答えた数に基づくデータである．表中，Conv. の影響率で示しているのは，各動作モードにおける，総発言数に対する Conv. の情報に影響を受けた発言数の比である．また，参照率とは，各グループにおける，発言数の合計（表 3.4参照）に対する Conv. の情報に影響を受けた発言数の比である．

3.4 情報提供エージェントの影響の検討

3.4.1 Conv. によるアイデア生成促進以外の影響の除去

発散的思考過程では，基本的にアイデアの質より量が重要であり，これはブレインストーミングの 4 原則の一つにもなっている [55]．したがって，単純に言えば，より多くのアイデア断片を引き出すことができるものが，よりすぐれた支援手法であると言うことができる．そこで，表 3.4に示した結果をもとに Conv. の動作モードの影響

表 3.6: 各発言のアイデアとしての質の主観評価結果

グループ	Conv. の動作モード				
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
G_1	2.19	2.18	—	2.29	2.17
G_2	2.54	2.32	2.36	2.86	—
			2.35		
G_3	2.37	2.09	2.46	2.86	2.14
G_4	2.23	2.24	2.21	2.10	2.17
G_5	2.27	2.32	2.37	2.19	2.15
平均	2.29	2.22	2.35	2.35	2.16

表 3.7: Conv. の提供情報に影響された発言の数

グループ	Conv. の動作モード				合計	参照率
	M_2	M_3	M_4	M_5		
G_1	2	–	3	0	5	0.03
G_2	2	0	3	–	5	0.08
		0				
G_3	3	0	3	0	6	0.05
G_4	3	0	1	1	5	0.05
G_5	11	1	0	0	12	0.08
合計	21	2	10	1	33	
総発言数	132	92	168	108	500	
Conv. の影響率	0.16	0.02	0.06	0.01	0.07	

を比較する．ただし，この結果を見てもわかる通り，Conv. の動作モードの違いの影響以外にも，グループごとの能力差，および議題ごとのアイデア生成の容易さの差が存在するため，単純に各動作モードにおけるアイデア数の平均を比較するわけにはいかない．そこで，次のような方法で，Conv. の動作モードの影響のみを取出して比較する．

ここでは，アイデア生成に影響する要因は，各動作モードにおける Conv. がアイデア生成を促進する効果（システム要因），グループ固有のアイデア生成能力（被験者要因），および議題ごとのアイデア生成の容易さ（議題要因），の三つのみであるとし，これらの三つの要因の影響は，相互に独立であり，かつ差分的ではなく比例的に影響するものと仮定する[4]．すなわち，Conv. の動作モード M_x で，グループ G_y が議題 T_z について発散的思考を行う際（以下では，この実験条件を，$[M_x, G_y, T_z]$ と表す），生成されるアイデア断片の数 $n_{x,y,z}$ は，次式で与えられるものとする．

$$n_{x,y,z} = m_x \cdot g_y \cdot t_z \cdot n_{st} \tag{3.3}$$

ここに，m_x は Conv. の動作モード M_x におけるシステム要因に関する係数，g_y はグループ G_y の被験者要因に関する係数，t_z は議題 T_z における議題要因に関する係数であり，n_{st} は定数である．なお，3.3節で述べた，各グループにおける最初の実験での Conv. の動作に起因する被験者へのバイアス効果があるとすれば，これは被験者要因に畳み込まれる．またアンケート結果において，多くの被験者は「今回のシステムからの情報はわかり易かった」「今回は的外れなものが多かった」などという感想を述べている．すなわち，被験者は事前の教示どおり，毎回 Conv. を異なる情報提供を行う存在として受けとめていたことが示されている．このことから，現実には上記のようなバイアス効果はほぼ存在しなかったと思われる．

式（3.3）の関係を用いて，実験結果から被験者要因および議題要因の影響を除去する．議題の種類およびグループ数が共に a で，それぞれ $T_1 \sim T_a, G_1 \sim G_a$ であったとする．この時，Conv. の動作モード M_α では議題とグループの組合わせが $\{(T_i, G_{f_1(i)}); 1 \le i \le a\}$ であり，また，動作モード M_β では議題とグループの組合わせが $\{(T_j, G_{f_2(j)}); 1 \le j \le a\}$ であったとする．ただし，関数 $f_1(i)$ は，i を $1 \sim a$ の値に 1 対 1 対応させる関数であり，関数 $f_2(j)$ は，j を $1 \sim a$ の値に 1 対 1 対応させる関数であり，$f_1(\cdot)$ と $f_2(\cdot)$ は，異なる対応づけをするものとする．なお，$(T_i, G_{f_1(i)})$ が $(T_j, G_{f_2(j)})$ と同じ組み合わせを取ることは，数学的には可能であるが，実験においては同じグループが同じ議題について複数回議論すると，学習効果の影響を受けて正しい結果を得られないため，避けなければならない．この時，実験 $[M_\alpha, G_{f_1(i)}, T_i]$ において生成されるアイデア断片数 $n_{\alpha,f_1(i),i}$ と，実験 $[M_\beta, G_{f_2(j)}, T_j]$

[4]現段階で本仮定を裏付ける理論的根拠は残念ながらない．しかしながら，発想という現象にかかわる認知科学的分析 [13, 43, 108] や理論的モデル化 [32] などが開始されているので，これらの研究の今後の進展に期待したい．

において生成されるアイデア断片数 $n_{\beta,f_2(j),j}$ は，以下の式で与えられる．

$$\begin{aligned} n_{\alpha,f_1(i),i} &= m_\alpha \cdot g_{f_1(i)} \cdot t_i \cdot n_{st} \\ n_{\beta,f_2(j),j} &= m_\beta \cdot g_{f_2(j)} \cdot t_j \cdot n_{st} \end{aligned}$$

である．ここに，m_α，m_β は，それぞれ動作モード M_α，M_β でのシステム要因に関する係数，t_i，t_j は，それぞれ議題 T_i，T_j の議題要因に関する係数，$g_{f_1(i)}$，$g_{f_2(j)}$ は，それぞれグループ $G_{f_1(i)}$，$G_{f_2(j)}$ の被験者要因に関する係数である．

これより，

$$\begin{aligned} \prod_{i=1}^{a} n_{\alpha,f_1(i),i} &= m_\alpha^a \cdot \prod_{i=1}^{a} g_{f_1(i)} \cdot \prod_{i=1}^{a} t_i \cdot n_{st}^a \\ \prod_{j=1}^{a} n_{\beta,f_2(j),j} &= m_\beta^a \cdot \prod_{j=1}^{a} g_{f_2(j)} \cdot \prod_{j=1}^{a} t_j \cdot n_{st}^a \end{aligned}$$

であるから，両式を辺々割ることにより，

$$\frac{m_\alpha}{m_\beta} = \sqrt[a]{\frac{\prod_{i=1}^{a} n_{\alpha,f_1(i),i}}{\prod_{j=1}^{a} n_{\beta,f_2(j),j}}} \tag{3.4}$$

を得る．結局右辺は，M_α での各実験で得た発言数の積を，M_β での各実験で得た発言数の積で割ったものの a 乗根であり，表 3.4の結果から容易に得ることができる．この結果，被験者要因および議題要因の影響を受けることなく，Conv. の動作モードの違いだけによるシステム要因の影響，すなわち m_α, m_β を比較することができる．

本章では，動作モード M_1 を基準として，その他の動作モードにおける Conv. の影響を評価する．式（3.4）に基づき，動作モード $M_i (i = 2 \sim 5)$ の，動作モード M_1 に対するアイデア断片生成促進能力の比 $r_{i,1}$ を求めた結果を表 3.8に示す．たとえば，動作モード M_2 と M_1 のアイデア断片生成促進能力の比 $r_{2,1}$ は，以下の様にして得ることができる．

$$r_{2,1} = \frac{m_2}{m_1} = \sqrt[5]{\frac{48 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 18 \cdot 31}{38 \cdot 14 \cdot 25 \cdot 19 \cdot 32}} = 0.963$$

なお，表 3.3に示しているように，実験 $[M_3, G_1, T_3]$ を実施できなかった関係で，実験 $[M_5, G_2, T_3]$ を $[M_3, G_2, T_3]$ に変更した．このため，$r_{3,1}$ は，$[M_3, G_{2\sim5}, T_{2\sim5}]$ と $[M_1, G_{2\sim5}, T_{2\sim5}]$ の結果を用いて求めた．また $r_{5,1}$ は，まず t_3/t_5 を $[M_{1\sim4}, G_{2\sim5}, T_3]$ と $[M_{1\sim4}, G_{2\sim5}, T_5]$ とから求め，この値と $[M_5, G_1, T_5]$ の結果から，$[M_5, G_1, T_3]$ における発言数の推定値 $n_{5,1,3} = 49.8$ を求め，さらに，この推定値を含めて $r_{5,2} = m_5/m_2$ を $[M_5, G_{1,3\sim5}, T_{1\sim4}]$ と $[M_2, G_{1,3\sim5}, T_{1\sim4}]$ とから求めることにより，最終的に $r_{5,1} = r_{5,2} \cdot r_{2,1}$ から求めた．

以上で Conv. の動作モードの影響だけを取り出せるようになったが，さらに Conv. の介入により，各被験者が読まなければならない情報量が増えることによる影響を考

表 3.8: Conv. によるアイデア断片生成促進能力の増加率

	$r_{2,1}$ m_2/m_1	$r_{3,1}$ m_3/m_1	$r_{4,1}$ m_4/m_1	$r_{5,1}$ m_5/m_1
比	0.963	0.945	1.235	0.881

慮し補正する必要がある．つまり，動作モード M_1 での実験は 3 人で作業が行われているのに対し，その他の実験では実質 4 人で行われているので，この作業条件の差を補正しなければ Conv. による純粋なアイデア生成触発促進効果を評価できない．本章で行った実験では，対話を行うための時間は一定であるから，発言を読まねばならない時間が増加すれば，その分作業効率は一見低下する．そこで，Conv. の情報提供が，被験者がそれを読む時間の増加にのみ影響し，被験者のその他の思考活動に一切影響を与えない場合に，作業効率がどの程度低下するかをまず見積もる．その見積もり値と，表 3.8の結果を比較することにより，最終的に Conv. の発言が，被験者が情報を読む以外の思考作業にどう影響したかを評価する．

1 対話実験あたりの作業時間を T，被験者数を n 人，ある被験者がその他の被験者の発言を 1 個読むのに要する時間を平均 t_{rs}，同じく Conv. が提供する情報 1 個を読むのに要する時間を t_{rc}，被験者が 1 個のアイデアを思いつきそれを記述して発言するまでに要する時間を，Conv. 不動作の場合に t_{nt}，Conv. が動作する場合に t_{wt} とする．被験者は，自分自身の発言は読まないものとし，また他者の発言をすべて読んでから自分のアイデアを考え，記述し，発言することを繰り返すものと仮定する．これは，各被験者がシーケンシャルに作業を行うという意味ではなく，全被験者が同時並列的に同じ時間（t_{nt} ないし t_{wt}）をかけてアイデアを考え，記述し，発言し，その結果すべての被験者は同時にすべての被験者からの発言を得ることができるので，それらをやはり同時並列的に各自同じ時間（$(n-1)t_{rs}$ ないし $(n-1)t_{rs}+t_{rc}$）だけかけて読む，という作業状況を想定している．したがって，Conv. が不動作（動作モード M_1）の場合に，被験者 1 人が 1 対話中で提出できるアイデアの数 N_{nc} は，

$$N_{nc} = \frac{T}{(n-1)t_{rs} + t_{nt}} \tag{3.5}$$

であり，Conv. が動作する場合（動作モード $M_2 \sim M_5$）に被験者 1 人が 1 対話中で提出できるアイデアの数 N_{wc} は，

$$N_{wc} = \frac{T}{(n-1)t_{rs} + t_{rc} + t_{wt}} \tag{3.6}$$

である．したがって，両者の比 r は，

$$r = \frac{N_{wc}}{N_{nc}} = \frac{(n-1)t_{rs} + t_{nt}}{(n-1)t_{rs} + t_{rc} + t_{wt}} \tag{3.7}$$

表 3.9: Conv. によるアイデア断片生成促進能力の純粋な増加率

t_{rc}	$R_{2,1}$	$R_{3,1}$	$R_{4,1}$	$R_{5,1}$
20 秒	1.031	1.012	1.322	0.943
30 秒	1.065	1.045	1.366	0.975

で与えられる．

Conv. の情報提供が，被験者がそれを読む時間の増加にのみ影響し，被験者のその他の思考活動に一切影響を与えない場合は，$t_{nt} = t_{wt}$ である．この場合の比 $r = r_{asm}$ を求める．本実験においてなされた対話について実際に測定を行ったところ，t_{rs} はおよそ 7 秒であった．一方，Conv. の提供情報は，全般に被験者の発言に比べてかなり長く，t_{rc} は 30 秒程度である．ただし読みとばしも多くあったと思われるため，20 秒程度の可能性もある．また，動作モード M_1 の場合の被験者 1 人あたりの 1 対話における発言数の平均はおよそ 8.6 発話であるから，式（3.5）より，$t_{nt} \approx 268$（秒）となる．よって，$r_{asm} \approx 0.904(t_{rc} = 30秒) \sim 0.934(t_{rc} = 20秒)$ となる．

したがって，表 3.8に示す，M_1 と $M_2 \sim M_5$ の各動作モードとの比較結果において，上記の r_{asm} より比 $r_{i,1}$ が大きくなっている場合には，t_{wt} が t_{nt} よりも短縮されたものと考えられる．この短縮は，Conv. の提供情報によって，被験者のアイデア生成能力が触発・促進された結果と見ることができるだろう．逆に $r_{i,1}$ が r_{asm} よりも小さくなるような場合は，Conv. の提供情報によって被験者のアイデア生成が阻害され，t_{wt} が t_{nt} よりも伸長された結果と見ることができよう．r_{asm} と，表 3.8に示した $r_{i,1}$ との比 $R_{i,1} = r_{i,1}/r_{asm}$ を，表 3.9に示す．

以上の補正の結果，Conv. の有無，および Conv. の各動作モード，すなわち情報検索手法の影響を比較検討できる．

3.4.2 議論

3.4.2.1 情報検索手法の差の影響

まず，3.2.2項で示した 4 種の情報検索手法の，情報検索特性の予測について検証する．本実験で用いた連想辞書は，比較的広範な分野にわたる知識から構成されており，実験で行った対話のいずれとも極端に分野が一致する（あるいは全くずれる）という状況は発生していない．表 3.5に示したように，Conv. が提供する情報と対話内容との関連性は，M_2 で最も高く，以下 M_4, M_3, M_5 の順に低くなる．$M_2 \sim M_5$ の動作モードでは，動作の違いは情報検索手法の違いであるので，この結果は，そのまま情報検索手法による差と見ることができる．したがって，3.2.2項で述べた，各情報検索手法によって抽出される情報と対話内容との関連性の強さに関する予想が裏付けられた．

表 3.9において，$R_{2,1}, R_{3,1}, R_{4,1}$ は t_{rc} の設定にかかわらず 1.0 を上回っている．このことから，Conv. の動作モード $M_2 \sim M_4$ では，Conv. が提供する情報によって被験者のアイデア断片生成が促進されていることが示される．特に，M_4，すなわち空白直接検索による情報提供の場合にアイデア断片生成促進の効果が著しく，30% 余りも能力が向上している．しかも，表 3.6に示す通り，M_4 におけるアイデアの質は最も良い結果となっている[5]．これらの結果は，空白を埋めるような情報の提供が，今回の実験のような非対面同期的状況でのブレインストーミングにおいて，発散的思考の促進に非常に効果的であることを示していると言える．

興味深いのは，動作モード M_2 の場合である．M_2 の場合，上述の通り Conv. が提供する情報と対話の内容との関連性が最も高く，また表 3.7に見られるように，被験者の発言に直接影響した情報も最も多い．また，アンケートにおいて，M_2 の場合の Conv. の提供情報は対話の流れに沿ったものであり，その存在に違和感や邪魔さを感じなかったという感想が多く見られた．一方，$M_3 \sim M_5$ の動作モードでは，Conv. の提供情報と対話内容の間にずれがあり，Conv. の存在に違和感や邪魔さを感じるので，もっと関連のある情報を提供して欲しいという意見が多く見られた．このように，表面的には M_2 での Conv. が最も自然な存在として受け入れられているにもかかわらず，アイデア断片生成促進の効果はあまり顕著でなく，3 ~ 6% 程度の向上しか見られない．また，表 3.6に見られるように，M_2 でのアイデアの質は，M_1 の結果をわずかながら下回っている．これらの結果は，被験者にとって提供が予想できるようなわかりきった関連情報は，話の流れに逆らうような違和感を与えない一方，わかりきった情報であるがゆえに，発散的思考の促進，すなわち固定観念の打開や思考の飛躍などの現象を引き起こす能力に欠けることを示すものと考えられるだろう．

話題連想検索を用いる M_3 の場合も，アイデア断片生成促進の効果は若干見られるもののあまり顕著ではなく，1 ~ 4% 程度の向上で，M_1 の場合とほぼ差がない結果となっている．また，表 3.7に示すように，M_3 における Conv. の情報に影響を受けた発言数も非常に少ない．しかしながら，表 3.6に示されるように，M_3 におけるアイデアの質は M_4 と並んで最も高い．また，アンケート結果には，M_3 の場合の提供情報と対話内容との関連について，対話終了後にアンケートを記述する際に考えてはじめて思い至ったというものがあった．この情報は，議題 T_2 における「人口指標の国際比較」に関する情報であった．この情報は，「電化調理製品の考案」という対話内容とは一見無関係に見えるが，これからの家電製品の実際のユーザは誰なのかを考えるにあたって，各国の人口の年齢構成が非常に重要なファクタとなることを示唆していると言え，当該被験者はその点に気づいたのであろう．3.2.2項で述べたように，いずれの情報検索手法においても，全く無関連な情報が提供されることは，基本的に

[5]ただし，3.4.1項でも述べたように，発散的思考過程では，あくまで「質より量」が重要であり，質については，本来次過程である収束的思考過程で評価判断されるべきである．したがって，本章における各アイデアの質に関する評価は，あくまで参考記録的なものであるということに注意されたい．

ない．しかし，連想検索を行った場合には，提供情報と対話内容の関連性が間接的になり，被験者には見えにくくなり，その発見に多少の時間を要する．このため M_3 に関しては，今回の実験条件下ではアイデア断片生成促進の効果にあまり良い結果が出なかったものと思われる．

一方，空白連想検索を用いる M_5 の場合は，アイデア断片生成促進の効果は 1.0 未満となり，被験者の発散的思考に対しむしろ妨害としての作用を与えていることが示されている．これは，表 3.5にも示されている通り，空白連想検索があまりにも関連性の見えにくい情報を提供するがゆえに，被験者の思考の流れを大きく妨げるためと思われる．表 3.7における影響率，および表 3.6におけるアイデアの質とも， M_5 の場合に最低となっていることも，このことを裏付けていると言えるだろう．

3.4.2.2 情報提供タイミングの影響

今回の実験では，いずれの動作モードにおいても，固定的に被験者の発言が 3 個ある都度 Conv. が情報を提供する手段をとったため，情報提供のタイミングの影響について，詳細な検討を行うことはできない．そこで，アンケートにおける感想をもとに，筆者による実験の観察も含めて，情報提供タイミングの影響について大まかな議論を行う．

表 3.4に見られる通り，被験者グループ G_1 は，その他のグループに比べて発言数が非常に多い．一方，表 3.7に見られる通り， G_1 の参照率は最も低い．アンケートに対する回答でも， G_1 の被験者はどの Conv. の動作モードについても， Conv. の存在を邪魔に感じる場合が多かった．特に， Conv. の提供情報は一般に長文であるため読む時間がかかる，発言一覧ウィンドウのスクロールがめんどう，といった理由が上げられていた．

これとは逆に，被験者グループ G_2 は，発言数は全グループ中で最も少ないが，参照率は最も高い．アンケート回答によれば， G_2 の被験者も，特に Conv. の動作モード $M_3 \sim M_5$ では Conv. の提供情報と対話内容とのずれに違和感を感じていたが，いずれの場合もあまり邪魔であるという感想はなかった．また， M_1 （Conv. 不動作）では比較的長時間にわたり発言が出ない現象が観察され，アンケートによれば被験者のうち 2 人がこの停滞を認識していた．そして，この 2 人の被験者は， Conv. の提供する情報は，たとえ対話内容と無関係そうに見えるものであっても，対話を新局面へ展開させる効果があると，アンケートで述べている．これは非常に興味深い指摘である．これは，先に示した「後から気づく関連性」と関係するものと思われる．同期的対話において，比較的高速に対話が進んでいる状況では，このような隠れた関連性について考察している余裕をもちにくい．しかし，ゆっくりと進む対話状況，あるいは対話が停滞状況にあるような場合には，このような情報について考える余裕が生まれるため，このような隠れた関連性に思い至り易くなり，その結果として新たな対話の

展開が導かれるのではないだろうか．

G_5 は，G_1 についで発言数が多いが，参照率は G_2 と並んで最も高い．これは G_5 のある 1 人の被験者が，M_2 の場合に Conv. の提供情報を 7 個も参照しているためであるが，この被験者がこの場合に G_5 のその他の被験者と同程度の参照数であったとすれば，参照率は 0.03 強程度となる．

以上から，大まかな傾向として，グループの（あるいは被験者の）発言数と，Conv. の提供情報に対する参照率は，ほぼ反比例関係にあることが示唆される．

また，3.4.2.1項の議論では，Conv. による純粋なアイデア断片生成促進効果について比較したが，M_2，M_3 の場合のアイデア断片生成促進効果はわずかであるため，Conv.　の発言を読むための時間をも含めた総合的なアイデア生成効率は，表 3.8に示した通り M_2，M_3 では Conv. なしの場合を下回ってしまう．特に M_3 の場合の効率の低さは，いずれの実験においても作業時間を一定とし，かつ同期的な対話を行ったためであろう．したがって，M_3 のようなやや見いだしにくい関連性を含む情報の提供は，提供情報を読む時間の増加の影響が少なく，かつ提供情報と対話内容との関連について考えるゆとりがある対話条件，すなわちゆっくり進行する対話，対話の停滞が頻発する状況，あるいは非同期対話などで用いるべきである．これによって，Conv. によるアイデア断片生成促進効果のみを活用することが可能となるだろう．

なお M_5 の場合には，表 3.8，表 3.9のいずれにおいても 1.0 未満の値となっているので，M_5 で提供される情報がアイデア断片生成促進に正の効果をもつ可能性を今回の実験結果からは主張できない．しかしながら，M_5 の提供情報も非常に遠いながらなんらかの関連性を含んではいるため，特にゆとりがある状況，あるいはもうどうしても新しい考えが思い浮かばないような状況などでは有効となる可能性があると思われる．

これらのことから，対話が同期的でかつ活発な状況では，Conv. は情報提供頻度を控え目にし，かつ利用者が関連性を見いだしにくいような情報の提供は避けるべきであり，逆に対話が緩やかに進行する状況や停滞状況，あるいは非同期対話状況などの，他者の発言や Conv. の提供情報をゆっくり読むゆとりがあるような場合には，Conv. は積極的に比較的高い頻度で情報提供をするとともに，空白中心や連想検索などを用いた，隠れた関連性を含む情報を提供すると効果的であることが示唆されていると言えるであろう．

3.5 関連研究

発散的思考の支援を目的とするツールの研究開発は既に多数なされている [90]．本節ではこのうち，本章で示した Conv. のような，関連情報の提供により，ツール利用者の発散的思考を促進するシステムについて概観し，本研究との差異について簡単に述べる．

IdeaFisher[14] は，あらかじめ関連づけられた語句データベースをもとに，利用者の入力するアイデアから連想される語句を提示するシステムである．Keyword Associator[118] も同様のシステムであるが，連想辞書が Internet 上のネットニュースの記事をもとに自動生成されている点が特長であり，利用者が入力する語に対して連想される語句を提示する．これらのシステムでは，基本的に単一利用者による使用が想定されており，またシステムの起動が，利用者からの明示的な指示によってなされる．一方 Conv. では，対象利用者は基本的にグループであり，その動作は，起動タイミングに加えて，Conv. が使用するキーワードの選択も自律的になされる．また，上記の 2 システムが語句を提供するのに対し，Conv. はひとまとまりの情報としての文章を提供する点も異なっている．

上記の従来例において語句を提供情報としている主な理由は，確定的な意味を構成しない語（群）の形で情報を提供する方がシステム利用者の自由な想像を妨げないからという考えに基づくものと思われる．たしかにそのような効果がある場合も多くあると思われるが，一方で入力した語とシステムが提示する語の関係を利用者がそもそも知らない場合に，その関連を見いだすことが困難ないし不可能であるという問題点がある．たとえば，UNIX ワークステーションについての知識のない人が家の窓の意味で “Window” という語を入力したとき，システムが “X” と答えてもこの利用者はその意味がわからないし，その意味を調べる糸口を発見することも難しい．しかし，このような未知の関連を利用者に知らしめることは明らかに発散的思考支援の一つの重要な要素なのであるから，ある程度はっきりした意味をもつ形で情報を提供することも必要である．そこで本研究では，意味のあるひとまとまりの文（章）として情報を提供している．

アイデア生成における Metaphor の効用は，経験的に良く知られている [86]．そこで，Metaphor Machine[123] は，関係データベースの手法を用いて，利用者の入力する文に対して Metaphor を自動生成し，提供するシステムである．したがって，提供情報を検索する手法が Conv. とは根本的に異なっている．また，Metaphor Machine は，IdeaFisher や Keyword Associator などと同様，基本的に単一利用者用で，システム起動も利用者からの指示に基づく点も Conv. と異なる．今後，このシステムの手法を応用して，Metaphor を適宜自律的に生成提供する機能をもつ Conv. を構築することも有効であろう．

グループによる発散的思考（ブレインストーミング）を支援対象とし，利用者からの動作指示のみによらず，自律的に動作可能なシステムとしては，Fujita らによる研究例 [18] がある．このシステムは，特定の利用者があるブレインストーミングに出席不可能な場合を想定し，インタラクティブなやりとりが可能な出席代行システムを構築することにより，CSCW 研究の課題の一つである，グループ作業の時間的な束縛からの解放を狙っている．このように，システムの機能としては Fujita らのシステムは本研究の Conv. と非常に類似しているが，本研究が異質性を含む情報の提供による

利用者の固定観念の打開に主眼を置いているのに対し，Fujita らのシステムでは同期的なミーティングにおける時間的束縛の解決に主眼を置いている点で異なっている．また，Fujita らのシステムでは，特定利用者の代行を意図しているため，システムが使用する情報ベースを，あらかじめ欠席予定者が議題に応じて構築しておく必要がある点でも，Conv. と異なっている[6]．

一方，概念の空間構造を用いた情報検索に関する類似研究例として，吉住らの研究 [122] がある．この研究では，自動車の設計を応用対象とし，本研究と同様に自動車に関する概念を 2 次元空間構造として表現し，その空間の任意の 1 点（通常は空白領域内の 1 点）を指定すると，その点に対応するであろう自動車形状を決定するパラメタを逆計算する．したがって，空白を指定した情報獲得という意味では，本章の空白中心を用いた情報検索と類似しているが，吉住らのシステムでは情報は検索されるのではなく生成されている点で異なる．また，得られた結果に基づく発想の触発効果という点での評価は行われていない．

3.6 おわりに

本章では，対話に参加し，発散的思考の触発を意図した情報提供を行うエージェント Conversationalist について，その機能の概要と効果について述べた．

Conv. は，まず対話参加者がキーボードからテキストデータとして入力する個々の発言を解析し，重み付きキーワードを自動抽出し，これを統計処理することにより，各発言とキーワードの相互関係を 2 次元空間上の位置関係として表現した話題空間を構築する．ついで，この話題空間と，あらかじめ準備されている連想辞書とを用いて，手持ちのテキストベースから情報検索を行い，抽出情報を対話に投入する．これにより，対話参加者の視野を拡げ，より広範な関連情報の獲得を可能ならしめることを目指している．

さらに，オンライン・チャット・システムに Conv. を組み込んだ実験システムを用いて被験者実験を行った．実験では，Conv. の情報検索手法を 4 種類準備した．すなわち，2 種類の検索キーワード抽出手法（話題空間上の話題中心，あるいは空白中心を用いた検索キーワードの抽出），および 2 種類の検索手法（検索キーワードを直接に用いる直接検索，あるいは連想辞書を用いて検索キーワードを連想変換する連想検索）の組み合わせによる，話題直接，話題連想，空白直接，空白連想の 4 種である．これら 4 種の情報検索手法と，Conv. を使用しない場合の五つのシステム動作条件において，3 人の被験者で構成される五つのグループに，五つの議題に関してブレインストーミング的な，非対面同期的対話を行ってもらった．この結果，以下のことがわ

[6]ただし，Conv. においても特定利用者の知識や視点を反映させることは可能であるし，さらに，そのような複数の知識や視点を組み合わせることで，それらの単なる和に留まらない，新たな知識や視点の創造の可能性があることを既に示している [73, 76]．

かった．

- 話題直接による情報検索が最も対話の内容と関連性の高い情報を抽出し，以下，空白直接，話題連想，空白連想の順に，抽出情報の関連性が低くなる．
- 非対面同期的環境におけるブレインストーミングでのアイデア断片の生成効率は，
  - Conv. が空白直接手法で情報検索した場合に最も促進され，アイデアの質的にも最も良くなる．
  - Conv. が話題直接，話題連想の両手法で情報検索する場合にも，わずかに促進される．
  - Conv. が空白連想手法で情報検索する場合には，逆に阻害される．
- 対話におけるアイデアの提出状況が，
  - 非常に活発な状況では， Conv. の情報提供頻度は低い方が望ましく，提供情報の内容も，比較的対話内容との関連性を把握し易いものが良い．
  - 逆に沈滞気味で対話が途切れる状況，ゆるやかに対話が進行する状況，あるいは非同期的に行われる対話状況などでは， Conv. の情報提供頻度はやや高めとし，提供情報の内容は，対話内容に対する隠れた関連性をもつものが良い．

以上から，総括的な結論として，自律的情報提供エージェントが適切なタイミングで適切な内容の情報を提供することは，発散的思考の支援に非常に効果的であることがわかった．

第 4 章

自由対話における話題転換の無遅延検出

4.1 はじめに

第 3章までででは，発散的思考を触発することができる情報を抽出する手法について検討した．その結果，統計手法によって対話の話題構造を 2 次元の空間構造として表現した話題空間と，連想検索とを用いることによって，発散的思考を効果的に触発できる情報を得られることがわかった．しかしながら，実際のブレインストーミングなどの，発散的思考を行う対話の場にこの情報検索システムを適用するためには，さらに対話の進行状況に応じて提供する情報の性質や提供タイミングを適宜変更する必要があることが，第 3章に示した実験において示唆された．そこで本章では，対話の進行状況を把握するための有力な手掛りとなる，対話における話題の転換を無遅延的に検出する手法について検討する．

ただし，ブレインストーミングの方法論に厳密に従って行われる議論では，個々の発言がそれに先行する発言と無関連なものとなる可能性が高い．アイデアの便乗によってなんらかのスレッドが構成される可能性はあるが，通常の対話と異なり参加者全員によってある単一のスレッドを維持する必要はないため，複数のスレッドが錯綜して展開する可能性がある．このように，ブレインストーミングでは一般的な対話や議論などで見られる「話の流れ」や「話題のまとまり」などを形成しにくいと思われる．したがって，厳密な形式でのブレインストーミングにおいては，議論状況の把握には，発言の頻度などの単純な要因を利用することが妥当と考えられる．

しかしながら，「発散的思考を行う対話」はブレインストーミングに限定されるわけではない．むしろブレインストーミングは非常に特殊な例である．より一般的な場合として，日常の人と人のコミュニケーション自体が創造的な側面をもつと考えられるため，そのなかでの相互理解や創造的共同作業などを支援することが非常に重要なタスクの一つとして認識されている [4, 11]．本研究では，とりわけインフォーマル・コミュニケーションと呼ばれる，休憩時間の雑談のような，自然発生した個人的関係を基礎とするコミュニケーションが，創造性の触発の場として重要であると考えてい

る．たとえば，インフォーマル・コミュニケーションの存在によって，はじめて組織が効果的に運用されうることが指摘されている [89]．さらに，そういった雑談における同僚や友人の発言のなかに，思いがけない視点からの情報や，日頃気になっていた問題の解決の糸口を発見することは，我々自身しばしば経験することである．そこで，本章ではブレインストーミングに限定せず，より一般的かつ日常的に発散的思考を行う対話の場として，インフォーマル・コミュニケーションを取り扱う．

従来から，遠隔地間でのインフォーマル・コミュニケーションを支援するシステムの研究などが行なわれている [15, 27]．しかし，これらは基本的にインフォーマル・コミュニケーションのための電子的な場を提供するに留まり，インフォーマル・コミュニケーションにおける創造性の積極的な触発や支援を意図したものではない．

インフォーマル・コミュニケーションにおける創造性の積極的な触発と支援を実現するためには，インフォーマル・コミュニケーションを対象とする対話処理技術が必要である．インフォーマル・コミュニケーションにおける対話は，一般に話題分野が不特定な自由対話となる．そこで本章では，機械処理（形態素解析）可能な程度に人手による修正を施した，3 人以上の話者による自由対話を書き起こした文章を処理対象とし，これを話題に基づきセグメント分割する手法を検討する．テキストベースでのオンラインディスカッションのような対話を想定すれば，上記に準ずる程度の品質の文（章）による対話は実現可能である[1]．対話の話題の時間的構造を対話の進行に対して遅延なく得ることができれば，それは第 3章で示した Conv. が情報提供のタイミングを決定するための有力な手掛りとなる．

以下，4.2節では，まず本研究で処理対象とする「対談文」の定義と特徴を示す．ついで従来の話題構造抽出手法について概観し，それを本研究で処理対象としている対談文に適用する場合の問題点を挙げ，インフォーマル・コミュニケーションにおける対話を話題分割する手法の技術的要件を考察する．その結果，このような対談文のセグメント分割手法として，発話の表層情報に基づき，隣接する発話同士が連結している程度を評価する局所結束性に加えて，発話の時間推移に基づき，複数の発話において話題が維持される程度を評価する広域結束性を用いた手法を提案する． 4.3節では局所結束性を求めるための要因と，それらに基づく局所結束性の程度の評価手法について， 4.4節では広域結束性を求めるための要因と，それらに基づく広域結束性の程度の評価手法について述べ， 4.5節ではこれらの結束性を用いたセグメント分割手法を説明する． 4.6節では，対談記事を用いた学習によるシステムパラメタの決定ならびにシステムの評価実験について述べ，本手法による不特定分野の自由対談文におけるセグメント分割の可能性を検討する． 4.7節はむすびである．

[1]たとえば，文献 [77] で示した，オンラインディスカッションシステムを用いての二つの対談例における発言は，すべて対談文に準ずる品質の文で構成されていた．

4.2 関連研究と予備的考察

4.2.1 対談文の特徴と処理の技術的要件

4.2.1.1 対談文の定義

本論文では対談文を処理対象とする．まず，対談文とその構造ならびに構成要素について，以下の通り定義する．

発話 ある 1 人の話者が，ある 1 回の発言機会において発した発言内容の全体．したがって，一般的には 1 個の発話は複数の文で構成される文章となる．ただし，非常に短い発話の場合は，1 個の発話が 1 個の文で構成される場合もあり得る．なお，発話を複数の文に分割する際，どこからどこまでを 1 個の文とするかの判断は曖昧であり，一意に決定できない場合が多い．このため本論文では，「文」という単位への分割の判断は，すべて書き起こしを行なう対談文編集者の判断に委ねるものとする．

対談 複数の話者が互いに協調して順次なす，内容的に関連がある発話の時系列的連鎖．

対談文 対談を書き起こした文章に対し，さらに形態素解析や構文解析などの機械処理が可能な程度に人手による修正を施した文章のこと．個々の発話にはその発話の話者を識別するための識別子を付与する．

4.2.1.2 処理対象とする対談文の特徴

対談文には，通常の新聞記事や論文などの文章と比べて，以下の 2 点の特徴がある．

- 複数の話者が交替に為す発話の連続によって構成される．
- 最初の発話から最後の発話に向けて，一方向に流れる時間が重要な役割を果たす．この結果，対談文は次の二つの性質をもつ．

  変容性 時間の経過と共に，過去の発話に含まれる情報の一部は徐々に失われる一方，新たな情報が順次追加されていく．この結果，対談内容の一貫性（coherence）は対談全体を通じては必ずしも維持されない．

  先行不能性 ある時点までの対談に対する各種判断・処理には，その時点以後の未来の発話に現れる情報は使用できない．たとえば，発話をまたがる後方照応はあり得ないこと[2]などはその一例．

[2]同一発話内の極めて近傍に対する後方照応はこの限りではない．

また，本論文では特にインフォーマルコミュニケーションにおける対談を処理対象とする．このような対談には，話題にかかわる次の二つの特徴がある [89]．

- 明確な到達目標がなく，話題は不特定分野に広がる．
- 特定の構造をもたない自由対談である．

4.2.1.3 処理の制約と技術的要件

本章で提案する手法では，以下の制約と要件を満足することを目標とする．

話者数 本研究では比較的多数の話者が気ままに話し合う状況における対談の処理を目指す．このため，対談に参加する話者の人数は 3 人以上の場合を想定する．

セグメント境界の位置 話題セグメントの境界は，発話と発話の間に存在するものとする．現実には 1 個の発話の途中において話題転換が起こったように見える場合もありうるが，このような場合でも 1 個の発話の途中にセグメント境界を置くことはなく，その発話全体として話題転換があったかどうかを判断し，転換があったと判断できる場合は，その発話と前発話との間に境界を置く．なお，セグメント境界という言葉と話題転換点（箇所）という言葉はほぼ同じ意味であるが，厳密には，話題転換点とは新たな話題が開始された発話のことであり，セグメント境界とは，話題転換点となった発話とその直前の発話との間のことを指す．

明瞭な話題転換点の検出 話題転換点には，多くの人々が一致してその存在を認識できる明瞭な話題転換点と，各人の判断がバラバラとなり，1 人かせいぜい 2 人程度だけが認識する曖昧な話題転換点があると思われる[3]．曖昧な話題転換点の判断は主観的な根拠によると思われるため，機械的に検出することは難しいと予想される．したがって，本研究では明瞭な話題転換点のみを検出対象とする．

判断処理タイミングと判断材料 本研究では，実際に実時間的になされる対談に第 3章で述べたようなエージェントが介入し，セグメントの内容に依存した各種対談支援処理を，対談の進行に対し遅延無く行なえるようにすることを目標としている．そこで話題転換点の検出には，現在話題転換の有無を判断しようとしている発話（以下これを現発話と呼ぶ）とそれ以前の発話から得られる情報を判断材料とし，現発話より未来になされる発話を使用しない．

システムのもつ知識 インフォーマルな不特定分野に話題がまたがる可能性のある自由対談を処理可能とするため，一般的な国語辞書的知識以外の，特定のドメイン知識や話題構造知識を用いない．

[3] これについては 4.6.3.1項で検証する．

4.2.2 従来研究とその問題点

従来から話題や話題構造の認識処理の研究は多数なされている．これらの研究が処理対象とする文章は，次の 2 種類に大別できる．一つは，本来時間要因が重要な意味をもつ文章で，2 人以上の話者による対話がこれにあたる．もう一つは時間要因があまり意味をもたない文章で，たとえば新聞や雑誌の一般的記事などの，発話を書き起こしたものではない文章や，あるいは 1 人の話者によるモノローグなどがこれにあたる．モノローグは，講演の記録などの発話で構成された文章ではあるが，このような発話は一般に事前に内容がかなり詳細に設計されているのが普通である．したがって，上記の変容性や先行不能性は必ずしもあてはまらないため，時間要因があまり意味をもたない文章とみなされる．

4.2.2.1 時間要因が重要な意味をもつ文章の処理

時間要因が重要な意味をもつタイプの文章を処理する研究のほとんどは，たとえば会議の受付での参加申し込み時の対話のような，目的指向型の対話を対象としている．このような対話ではあらかじめどのような発話がやりとりされるかがかなりの程度想定可能であるため，plan-goal モデルに基づく知識や，語彙的な話題階層知識をシステムにもたせて，次発話をあらかじめ予測することによる話題処理がなされることが多い（たとえば，文献 [88]）．また，このような対話は一般に質問・応答によって構成されるため，小文末表現を利用した発話間の結束性を用いて発話対を決定することによる対話の構造化 [48] なども行われる．

これらの手法は，目的指向を前提とすることで対話全体での一貫性を仮定して変容性の問題を回避し，また特定の対話内容分野を想定した知識をもち，種々の推論を行なうことによって先行不能性の問題を回避している．つまり，実際には時間推移の影響を無視できる状況を想定していると言える．したがって，これらの手法の多くは，時間推移の影響を回避できない自由対話には適用できない．発話間の結束性の利用は，目的指向型以外の対話についても有効と考えられるが，自由対話においては発話対は必ずしも成立しないという指摘もあり [61]，目的指向型の対話処理における結束性の求め方とは異なる結束性の獲得手法を利用することも必要であろう．

一方，自由対話を扱う手法としては，cue phrase と呼ばれる特定の発話表現や意図構造，注意状況を利用した話題構造抽出手法 [23]，分野同定 FIFO や対話分野に応じたドメイン知識の使用による話題同定手法 [110]，因果関係をもとにした発話対抽出手法 [82] などが試みられている．

しかし，表層的情報だけから意図構造や注意状況を獲得することは困難である．また，分野同定 FIFO を用いる手法は，ある時点での話題転換を検出するために，その時点より未来になされる数発話からの情報を必要とするので，先行不能性を侵害する．さらに，インフォーマルな自由対談の処理にドメイン知識を用いることは現実的

でない．ただし，cue phrase は非常に明解に話題構造を提示する情報であり，しかも一般に変容性と先行不能性を侵さないので，その利用は様々な対話（さらには一般的な文章）において有効であると考えられる．

4.2.2.2 時間要因があまり意味をもたない文章の処理

時間要因があまり意味をもたないタイプの文章を処理する研究においても，やはり結束性を用いる手法と，新たな話題が導入される際の特定の言語現象を利用する手法が一般的である．

結束性を用いる手法としては，たとえば隣接する 2 個の文塊（1 個の文塊は複数の文で構成される）同士の類似性を，それらの文塊が共有するキーワードとそれら個々の重みに基づいて求め，その結果文塊同士が内容的に連続かどうかを判定することにより，文章全体をセグメント分割する手法が提案されている [26]．この類似性はある種の結束性とみなすことができ，しかも基本的にキーワードの共有関係だけで求め得るものであるので，一般的な文章のみならず，本研究が対象とする対談文にも適用可能である．ただし，文献 [26] で使用されている $tf \cdot idf$ と呼ばれるキーワードの重みづけ手法 [97] は時間要因を考慮しておらず，処理対象の文章全体から得られる統計量に基づく重みづけを行なっているため[4]，対談文における先行不能性に対応していない．また，結束性とは文中に含まれる要素間の関係によって生じるものであるが，結束性が認められた文同士が必ずしも内容的に連続しているとは限らず，また逆に結束性が認められない文同士が内容的に連続している可能性もあることが指摘されている [63]．この問題に対処するには一貫性を考慮する必要があるのだが，一貫性を取り扱うには表層的情報だけでは通常不十分で，深い意味理解に立ち入らねばならないという問題がある．

話題導入時の言語現象を利用する手法では，cue phrase や話題マーカを基本として話題分割を行ない，さらに文長などを考慮して大局話題と局所話題の判定を行なっている [111]．この手法は本研究が対象とする対談文にも適用可能である．ただし，現実には話題マーカは非常に多くの発話に出現するため，これを単純に使用すると話題転換が非常に多数検出される傾向が見られることが予備実験でわかった．これは実際の対談のなかで人間が認識する話題の粒度よりもはるかに細かい粒度での話題を検出する結果をもたらす[5]．

---

[4] 詳細は 4.4.1.2項参照．

[5] cue phrase については頻度はそう高くなく，対談のなかで人間が認識する話題の粒度程度か，それよりやや大きい程度である．

4.2.3 話題構造検出の方針

以上の考察，ならびに従来研究の概観から，本研究では以下のような手段を採用する．

1. 対談データから採取する情報は表層的な情報のみ，すなわち形態素情報，時間情報および話者情報とする．

2. 特定分野に依存するドメイン知識や話題構造知識を使用しない．

3. 発話間の結束性を利用してセグメント境界を検出する．結束性の判定には，以下の情報を用いる．

   (a) cue phrase などの話題転換／継続にかかわる特定の言語現象

   (b) キーワードの共有，あるいは質問応答・照応などの，ある発話とその直前発話とを関連づける表層的特徴

   (c) 対談の進行による時間推移情報に基づく，一貫性に準じる情報

なお，従来から一般に使用される発話間の結束性は，現発話そのもの，あるいは現発話とその直前の発話とから得られる局所的な情報に基づいているので，これを本論文では局所結束性と呼ぶ．上述した結束性の 3aと 3bの判定方法は，このような局所情報のみに基づいている．したがってこれらによって得られる結束性は局所結束性である．

一貫性は，「意味内容」という深層情報によって文同士（あるいは発話同士）を結び付けるものである．したがってこれは隣接する 2 文（2 発話）のみではなく，通常いくつかの文（発話）にまたがる広い範囲に対する結束力を産みだす．本研究では，既に述べた理由により表層情報のみを取り扱うため，意味内容に深く立ち入ることはできない．しかし，話題候補語が表層的な情報から獲得可能であることは，既に 4.2.2項で示した従来研究の多くで示されており，それによって各発話の意味内容を浅いレベルで扱うことが可能となる．以上から，厳密な意味での一貫性を取り扱うことはできないが，話題あるいは個々の話題候補語の，対談の進行に伴う変容の可能性を取り扱うことによって，一貫性に準じる情報を得ることが可能であると考えられる．

そこで，本研究では，現発話以前のすべての発話から得られる情報の時間推移に基づく結束性を定義する（上述した 3cの判定方法によって得られる結束性にあたる）．これを広域結束性と呼ぶ．これによって，たとえば現発話とその直前の発話とが局所結束性を判定するための要因を一切もたない場合であっても，広域結束性によって現発話が直前発話とどの程度連結されているかを判定できるようになる．

表 4.1: 局所結束性を求める手掛りとなる表層的要因

断絶要因	連結要因
Cue phrase	共有語
相手特定表現	反対語
	指示語
	接続詞
	前疑問文
	応答文
	コメント文

4.3 局所結束性

局所結束性は，現発話のみ，あるいは現発話とその直前発話に含まれるいくつかの表層的要因から得られる，現発話とその直前発話との連結の程度を示すものである．本節では，局所結束性を求めるための表層的要因と，それらの要因に基づく結束性の強さの評価方法について述べる．

4.3.1 局所結束性の要因

局所結束性を求める手掛りとして，以下に示す表層的要因を各発話から抽出し，これらの要因を用いて局所結束性の強さを評価する．これらの表層的要因は，すべて現発話とその直前発話のみから得られるものである．本研究では，局所結束性の要因を断絶要因と連結要因の二つに分類する．断絶要因とは，隣接する発話の間の連続性を積極的に断ち，多くの場合新しい話題を導入する機能をもつとみなされる要因のことである．連結要因はこの逆で，隣接する発話を結び付ける機能をもつとみなされる要因のことである．表 4.1に，局所結束性を求める手掛りとなる表層的要因の一覧を，断絶要因，連結要因のそれぞれについて示す．

4.3.1.1 断絶要因

以下の二つを断絶要因とみなす．

Cue phrase 本研究で言う Cue phrase は，一般に新しい話題を導入する際に使用される特定の表現のことを指す．したがって，これらは通常，話題転換点を明示的に示す．プロトタイプシステムで使用している Cue phrase を表 4.2に示す．

相手特定表現 対談に参加している人物 A に対し，「A さん，~ についてどう思いますか」のように，その人の名前を呼びかけて尋ねる表現で，3 人以上の対談特有の

表 4.2: 使用した cue phrase

ところで，じゃあ，話が逸れますが，もう一つ，
それにしても，~といえば，話は変わりますが，
話を戻しますが，話は違いますが．

表現である．予備調査において，明示的に対談相手を指定するのは，その相手が良く知っていそうな話題をもち出す場合であることが多かった．したがって，このような表現が使用される際に話題の転換が起る可能性が高いと考えられるため，相手特定表現も断絶要因として扱うことにした．

4.3.1.2 連結要因

以下の要因は，すべて直前発話に対するなんらかの参照を行なうものである可能性が高いため，連結要因とみなす．

共有語 前発話に含まれる名詞の同一語が現発話にあるかどうか．これは，文献 [26] における，文塊間で共有されるキーワードにあたる．なお，共有語については，ごく一部同義語も共有語として扱っている．

反対語 前発話に出現したある名詞の反対語が現発話にあるかどうか．

指示語 現発話の第 1 文に指示代名詞があるかどうか.

接続詞 現発話の第 1 文に接続詞があるかどうか．

前疑問文 現発話の前の発話が疑問文かどうか．

応答文 現発話が，「なるほど」「おっしゃるとおりです」などだけのごく短いあいづち的な発話かどうか．応答文の検出は，あらかじめ「なるほど」「おっしゃる通り」などの相づち表現を集めた相づち表現辞書を準備しておき，ごく短い発話においてこの辞書に含まれる表現が現れる発話を抽出することによって行なう．

コメント文 前発話に対する確認的内容をもつ発話かどうか．第 1 文が「~ね．」で終るものをコメント文とみなす．これは一種の小文末表現による結束性とみなすことができる．

なお，同義語・反対語は手動で作成した辞書を使用して検出する．この辞書には現在，実験に使用した全対談文データから収集した 57 の項目が登録されている．また，現発話の直前の発話が応答文である場合には，共有語ならびに反対語は現発話と

表 4.3: 局所結束性要因に基づく発話のカテゴリ分類法

カテゴリ	断絶要因	連結要因
断絶群	あり	不問
不安定群	なし	なし
連結群	なし	あり

応答文である前発話とを比べて求めるのではなく，現発話と応答文の前の発話（つまり現発話の前々発話）とを比べて求めるものとする．また，実際の対談では直前発話の一部をそのまま繰り返す現象がしばしば見られ，これは有力な連結要因となると思われる．しかし，どの部分がどの程度の長さ（割合）で一致する場合にそれを連結要因として採用するかの判断が難しいため，現在の手法では繰り返し表現を局所結束性要因として扱っていない．

4.3.2 局所結束性の程度の評価

以上の局所結束性の要因を用いて，各発話を以下の三つのカテゴリーに分類する．表 4.3に，各カテゴリーと各要因との関係を示す．

断絶群 いずれかの断絶要因を 1 個以上もつ発話（連結要因の有無については不問）．局所結束性は強い断絶を示す．したがって，断絶群に含まれる発話において話題が転換する可能性は高い．

不安定群 局所結束性の要因を全く含まない発話．局所結束性は断絶性・連結性とも弱い．不安定群に含まれる発話において話題が転換する可能性は中程度である．

連結群 断絶要因は含まず，1 個以上の連結の要因をもつ発話．局所結束性は強い連結性を示す．したがって，連結群に含まれる発話において話題が転換する可能性は低い．

4.4 広域結束性

本節では広域結束性を求めるための要因として話題維持指数と名詞の話題維持寄与指数を定義し，これらを用いて広域結束性の強さを評価する方法について述べる．これらの指数は，すべて現発話以前の発話における表層情報と，対談の時間推移情報から得られるため，対談の変容性と先行不能性を侵さない．しかもこれらの獲得には，特定の分野知識や対談構造，plan などを必要としない．なお，これらの指数はいずれも本質的に連結の程度を示すものであり，断絶の程度を示すものではない．すなわ

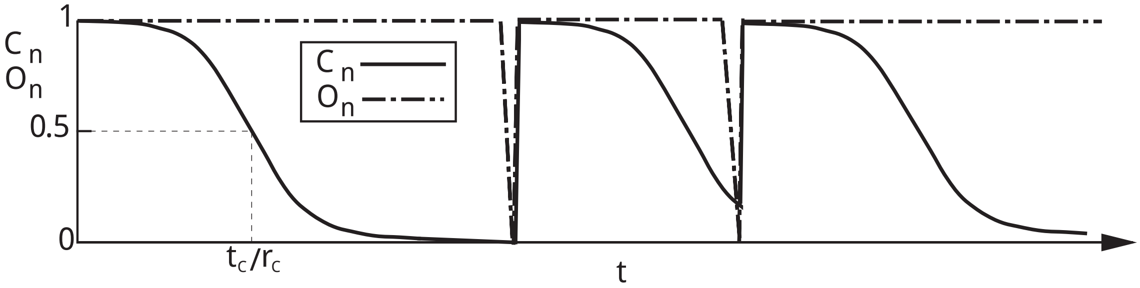

図 4.1: 話題維持指数の変化例

ち，ある要因が最も話題維持に寄与しない状態にあるとしても，それはたかだかそこまでの話題が維持されてもされなくても良いことを示すに留まり，話題が転換することを積極的に示すものではない．

4.4.1 広域結束性の要因

4.4.1.1 話題維持指数

話題維持指数は，話題転換が発生した直後は話題の転換が発生しにくいが，話題転換後ある程度対談が進行すると次の話題転換が発生してもよい（しかし，必ずしも転換しなければならないわけでもない）状況となるというヒューリスティクスに基づき，その傾向を定量化するものである．

第 n 発話の話題維持指数 C_n を次式で定義する．

$$\begin{aligned} &\text{if } O_{n-1}=0 \quad \text{then} \quad C_n = 1, \Delta t = 0 \\ &\text{if } O_{n-1}=1 \quad \text{then} \quad C_n = \frac{1}{1+e^{r_C \Delta t - t_C}} \end{aligned} \tag{4.1}$$

ここに，Δt は前の話題転換点からの経過時間，r_C と t_C は定数である．O_{n-1} は第（$n-1$）発話においてシステムが判断した話題の転換の有無（0: 転換，1: 話題維持）である．

図 4.1に，システムが判断した話題転換の有無 O_n の経過例と，その場合の話題維持指数 C_n の変化の様子を示す．図からわかる通り，話題維持指数 C_n は話題転換検出直後に値 1 にリセットされ，その後 $\Delta t = t_C/r_C$ 経過時に $C_n = 0.5$ となった後，次第に 0 に漸近する．ここに，話題維持指数 C_n は，1 に近いほど話題の維持傾向が強く，0 に近いほど話題の維持傾向が弱いことを示す．したがってこの話題維持指数の変化は，先に述べたヒューリスティクスを記述するものである．

4.4.1.2 名詞の話題維持寄与指数

名詞の話題維持寄与指数は，対談のある時点において，その直前までになされてきた話題の維持に対して，ある名詞が寄与する程度を示すものである．これは，一般的

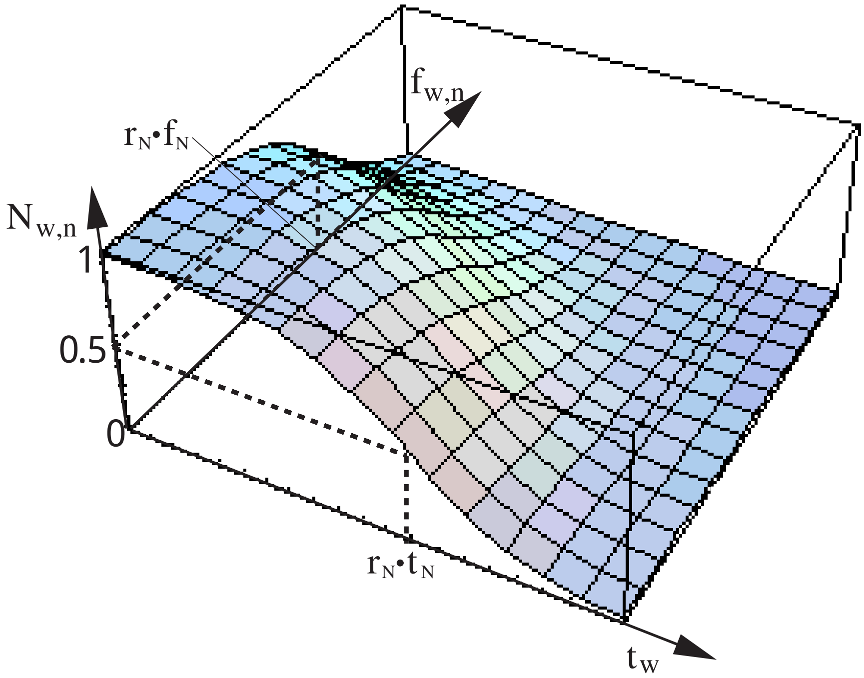

図 4.2: 名詞の話題維持寄与指数の変化の様子

に言うキーワード重みと類似している．ただし，一般的な意味でのキーワード重みとは，あるキーワードの，そのキーワードを含む発話の内容にとっての重要度のことであるが，名詞の話題維持寄与指数は，以下に説明するように，それとは無関係ではないがやや異なった意味をもつものである．

名詞 w の第 n 発話における名詞の話題維持寄与指数 $N_{w,n}$ を次式で定義する．

$$N_{w,n} = \frac{1}{1 + e^{\sqrt{(\frac{t_w}{t_N})^2 + (\frac{f_{w,n}}{f_N})^2} - r_N}} \tag{4.2}$$

ここに，$f_{w,n}$ は名詞 w の第（$n-1$）発話までの出現回数，t_w は名詞 w が前回使用されてから今回使用されるまでの経過時間である．ただし，名詞 w が初出語である場合は，t_w の値は非常に大きな値とする．また，t_N，f_N，r_N は定数である．

図 4.2に名詞 w の話題維持寄与指数 $N_{w,n}$ の変化の様子を示す．図からわかる通り，話題維持寄与指数 $N_{w,n}$ は，語 w の累積出現頻度 $f_{w,n}$ と出現間隔 t_w がともに小さい場合にのみ 1 に近い値をとり，$f_{w,n} = 0$ の場合 $t_w = r_N \cdot t_N$ で $N_{w,n} = 0.5$，あるいは $t_w = 0$ の場合 $f_{w,n} = r_N \cdot f_N$ で $N_{w,n} = 0.5$ となり，その後 $f_{w,n}$ と t_w のいずれか，あるいは両方の値が大きくなるに従って 0 に漸近する．ここに，話題維持寄与指数 $N_{w,n}$ は，値が 1 に近いほど話題の維持への寄与度が高いことを示し，0 に近いほどその名詞の話題維持への寄与度が低いことを示している．したがってこのような話題維持寄与指数 $N_{w,n}$ の変化は，累積出現頻度 $f_{w,n}$ が低くしかも出現間隔 t_w が短い

語 w は，その直前までの話題の維持に対して強く寄与するものとシステムが評価することを示している．

このように評価する根拠について以下説明する．語の出現頻度によって重みづけを行っている点で，式 (4.2) の寄与指数算出方法は $tf \cdot idf$(term frequency · inverse document frequency) [97] と同じ考え方に基づいている．$tf \cdot idf$ では，テキスト集合 $\mathbf{D}$ に含まれるあるテキスト d_i における語 w_j の重み W_{d_i,w_j} を，以下によって算出する．

$$W_{d_i,w_j} = tf_{d_i,w_j} \cdot idf_{D,w_j}$$

ここに，tf_{d_i,w_j} は，テキスト d_i における語 w_j の出現頻度である．また，idf_{D,w_j} は，以下の式で与えられる．

$$idf_{D,w_j} = log(\frac{N_D}{df_{D,w_j}})$$

ここに，N_D はテキスト集合 $\mathbf{D}$ の大きさであり，df_{D,w_j} は語 w_j を含むテキストの数である．すなわち，$tf \cdot idf$ では，

- ある 1 個のテキストのなかで高頻度に出現する語は，そのテキストにとって重要である．
- テキスト集合全体を通して出現頻度が高い語は，
  - そのテキスト集合全体を通しての大局的なテーマにかかわる語
  - どんな種類のテキストでも使用される一般的な語

  のいずれかと考えられるため，特定テキストにおける重要性 (そのテキストをその他のテキストと差別化する機能) は低い．

という考え方に基づき，重みづけを行っている．

一方，式 (4.2) では，以下の点で $tf \cdot idf$ と異なっている．第一に，$tf \cdot idf$ ではテキスト集合全体における語の出現頻度を使用しているのに対し，式 (4.2) では現発話以前の発話のみにおける頻度を使用している．これは対談の先行不能性を考慮しているためである．

第二に，式 (4.2) では，ある語が前回使用されてからの出現間隔を考慮している．これは対談の変容性を考慮しているものである．文献 [26] などでは，時間的推移性のない一般的なテキスト群をセグメント分割の対象としている．しかし，対談文のなかの各発話のような時間推移のある状況では，各語の出現間隔が話題の維持と転換に対して重要な寄与を果たす．たとえば，対談全体を通じて使用頻度の低い語は，それを含む発話にとってはやはり重要な語とみなせるが，

- 第 ($n-1$) 発話と第 n 発話がその語を共有する場合

- 第（$n-k$）発話 $(k \gg 1)$ と第 n 発話がその語を共有するが，第（$n-k+1$）発話から第（$n-1$）発話までの発話はその語を含まない場合

を比べると，第（$n-1$）発話における話題が第 n 発話でも維持されるかどうかの判断に対する，その語の寄与のあり方は，明らかに異なる．前者の場合，その語は，話題の維持に強力に寄与するであろう．しかし，後者の場合は話題の維持に対する寄与は低い．むしろ，その語は新たな話題を導入するもの，あるいはかつて話題となっていたが一旦消えた話題を再導入するものとなる可能性もある．対談全体を通じて高頻度な語であっても，ある程度長期間使用されなかった後に再出現した場合は，やはりかつて話題となっていたが一旦消えた話題を再導入するものとなる可能性が考えられる．以上が，式（4.2）と $tf \cdot idf$ との相違点である．

ここで，長期間使用されなかった語や初出語（特に初出語）は，新しい話題をもたらすものとなりうるので断絶要因とみなすべきではないかという議論がありうる．しかし，後で述べる実験用対談データなどについて調査した結果，初出語は対談中にかなり多数出現することがわかった．したがって初出語をすべて積極的話題転換の指標として扱うと，話題転換でない箇所を話題転換点として多数誤認識する傾向が見られた．そこで本研究では，初出語についてもその出現は話題転換を促すものではなく，それらの語個々による話題の維持傾向は弱いと判断するに留めることにした．

なお，tf_{d_i,w_j} にあたる項は，式（4.2）には含まれない．これについては，4.4.2項で示すように，現発話に含まれる複数キーワードのうちから代表値を決定する際に考慮する．

4.4.2 広域結束性の程度の評価

以上定義した指数を用いて，広域結束性の強さを以下に示す 3 通りの方法で評価する．

4.4.2.1 話題転換後の経過時間に依存する話題維持傾向の評価

話題維持指数 C_n をそのまま適用し，この評価結果とする．すなわち，話題転換検出直後に再び話題が転換する可能性は低く，そこまでの話題が維持される傾向が強いと評価する．

4.4.2.2 直前発話との共有語による話題維持力の評価

局所結束性で連結性の指標とみなしている，連続する発話の共有語について，さらに各語の話題維持寄与指数を用いてその結束性の程度を詳細に評価する．第 n 発話が第（$n-1$）発話との共有語を複数個含む場合，第 n 発話に含まれる全ての共有語の話題維持寄与指数 $N_{w,n}$ の最大値を，第 n 発話における共有語による話題維持寄与指数

の代表値 S_n と定義する．代表値を最大値としているのは，話題維持寄与指数の大きい語，すなわち低頻度だが連続的に出現している語はその区間での話題語である可能性が非常に高く，したがってその語が現発話における共有語による話題維持傾向を支配するだろうとの予想に基づく．なお，共有語を含まない発話の S_n は 0 とする．

4.4.2.3 現発話が含む名詞による話題維持力の評価

第 n 発話に含まれるすべての名詞の話題維持寄与指数によって，第（$n-1$）発話までになされている話題をその発話が維持する傾向を評価する．話題維持寄与指数の値域を幅 0.1 の 10 階級に分割し，現発話に出現した全名詞の話題維持寄与度が最も多く含まれる階級（mode）を上位 2 個求め，その 2 階級の加重平均をその第 n 発話の代表値 N_n とする．ここで代表値を全評価値の平均でなくモードで決定するのは，

1. 度数の高い階級がその発話の話題維持傾向を特徴づけるであろう，

2. 評価値の分布は正規分布ではなく一般に歪んだ分布となるであろう，

という予想から，モードの方が発話の特徴をより良く表現できるであろうとの考えに基づく．この処理によって，ある単一発話内での各語の出現頻度が考慮される．この結果，N_n は第 n 発話に出現する全ての名詞による全体的な話題維持傾向を示す値となる．

4.5 セグメント分割手法

本節では，局所結束性と広域結束性を組み合わせて，最終的に対談文をセグメント分割する方法について説明する．基本的な方針は，話題維持力がきわめて弱い状態にある発話を検出することにより，その発話で話題転換が起こるとみなすものである．

対談文のセグメント分割手法のアルゴリズムをまとめたフローチャートを，図4.3に示す．まず，入力された発話文を形態素解析し，名詞や各種局所結束性要因を抽出し，さらにそれまでの対談における名詞の出現頻度や時間経過などの履歴情報を用いて，C_n, S_n, N_n を求める．ついで局所結束性を用いて隣接発話間の関係を求める．その結果，連結群に含まれる発話については強い結束力があるものとみなし，その発話では話題転換は起こらないものとする．これは基本的に従来の結束性に基づく話題構造化手法における仮定と同様であるし，また実際に行なった被験者実験においても，連結群に含まれる発話で話題転換が起こる確率は非常に低いものであった．一方，不安定群と断絶群に含まれる発話については，さらに広域結束性を用いて以下のようにしてセグメント分割の有無を判定する．

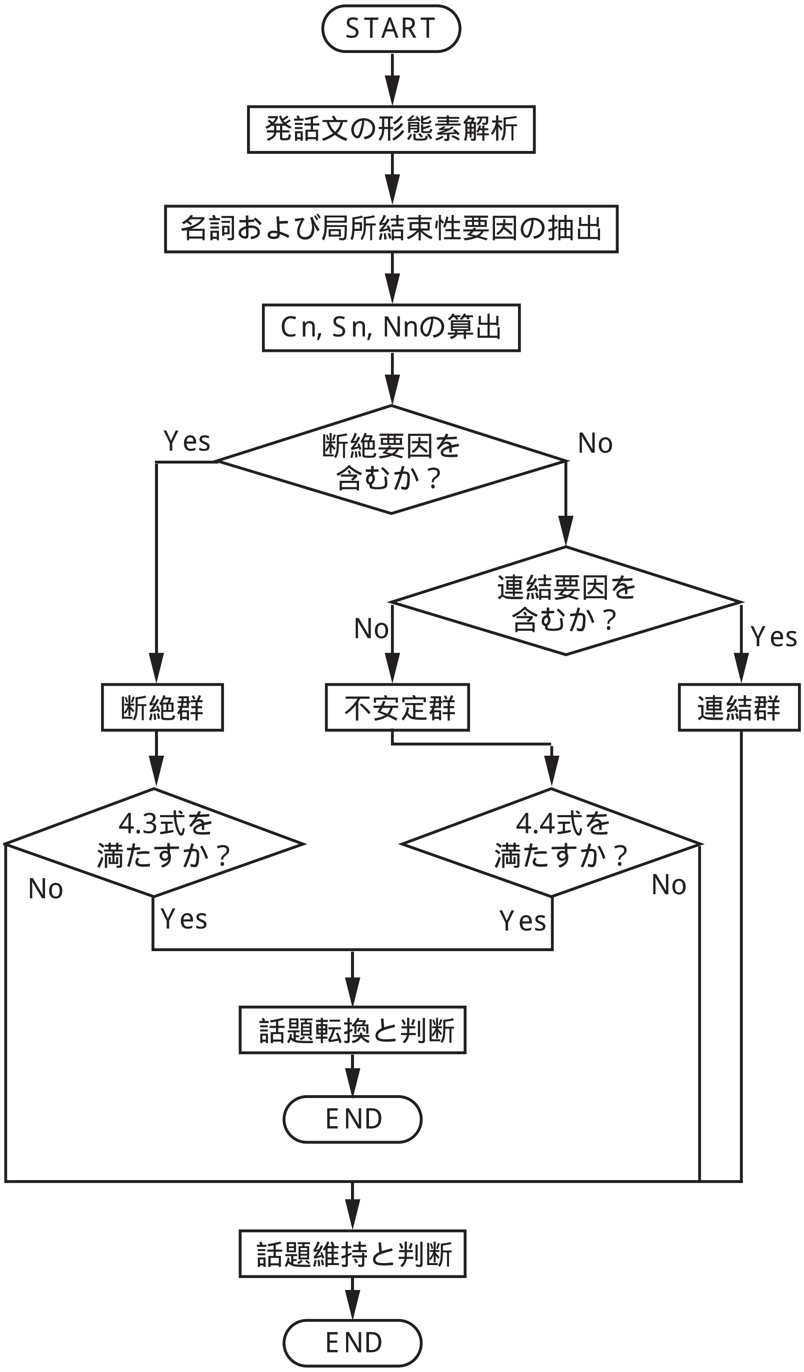

図 4.3: セグメント分割の処理の流れ

4.5.1 断絶群に含まれる発話についての判定

従来の cue phrase を基本とする話題構造化手法では，断絶群に含まれる発話では話題の転換が起こるものとして処理されていた．しかし，実際に被験者実験を行なうと，cue phrase を含むにもかかわらず話題の転換はなかったと判断されるような場合が若干存在する（表 4.8参照）．これはその発話が含む連結要因の影響が非常に強く，それが cue phrase による断絶力を上回るような場合に起こるものと考えられる．そこで，以下のような判定を行なうことによって，断絶群に含まれる発話から広域結束性が極端に強くはない発話を抽出し，それらの発話で話題の転換が起こるものとみなすことにする．すなわち，第 n 発話における広域結束性の各要因が以下の条件を満たす発話を抽出し，該当する発話で話題転換が起こるものと判断する．

$$\begin{aligned}&(C_n < \alpha_C \land N_n < \alpha_N)\\ \lor\ &(N_n < \alpha_N \land S_n < \alpha_S)\\ \lor\ &(S_n < \alpha_S \land C_n < \alpha_C)\end{aligned} \tag{4.3}$$

ただし，$\alpha_C,\ \alpha_N,\ \alpha_S$ は 0 以上 1 以下の定数である．

4.5.2 不安定群に含まれる発話についての判定

従来，不安定群に含まれる文（発話）についてはどの手法においても特に積極的には考慮されておらず，常に「その他の文（発話）」として扱われていた．しかし，実際には cue phrase を含まない発話においても人間は話題転換を認識する場合があり，しかもそれはこの不安定群に属する発話においてである確率が比較的高いことが実験でわかっている（表 4.5，表 4.7参照）．そこで，不安定群に含まれる発話について，第 n 発話における広域結束性の各要因が以下の条件を満たすような，特に話題維持傾向の弱い発話を抽出しそれらの発話で話題の転換が起こるものと判断する．

$$(C_n < \beta_C \lor N_n < \beta_N) \tag{4.4}$$

ただし，$\beta_C,\ \beta_N$ は 0 以上 1 以下の定数である．

4.6 実験

以上述べた手法に従ってプロトタイプシステムを実装した．本節では，このプロトタイプシステムを用いて行なった学習用データによる実験と，それに基づく各種パラメタの決定，および評価用データに基づく評価実験結果を示す．

表 4.4: 学習用データに対する被験者による話題転換点抽出結果

対談文	発話数	転換点数	1 話題あたりの平均発話数	標準偏差	最短話題構成発話数	最長話題構成発話数
1	136	11	11.3	8.2	4	34
2	167	14	11.1	7.7	3	33
3	127	6	18.1	5.1	10	26
4	121	9	12.1	8.2	5	34
合計	551	40	12.5	7.9	3	34

1 発話あたりの平均文字数	57
被験者が対談文を読む平均的速さ	10.5 文字 /sec

表 4.5: 学習用データに対する本手法の適用実験結果

対談文	発話数	転換点数	局所結束性のみによる判別結果						最終判別成績		
			断絶群 (転 / 非)	不安定群 (転 / 非)	連結群 (転 / 非)	断絶群 + 不安定群 (転 / 非)	断絶群 + 不安定群 再現率	断絶群 + 不安定群 適合率	最終抽出箇所 (転 / 非)	再現率	適合率
1	136	11	7(7/0)	4(2/2)	125(2/123)	11(9/2)	81.8%	81.8%	10(9/1)	81.8%	90.0%
2	167	14	10(8/2)	5(2/3)	152(4/148)	15(10/5)	71.4%	66.7%	12(10/2)	71.4%	83.3%
3	127	6	6(5/1)	3(1/2)	118(0/118)	9(6/3)	100.0%	66.7%	8(6/2)	100.0%	75.0%
4	121	9	3(3/0)	7(4/3)	111(2/109)	10(7/3)	77.8%	70.0%	9(7/2)	77.8%	77.8%
計	551	40	26 (23/3)	19 (9/10)	506 (8/498)	45 (32/13)	80.0%	71.1%	39 (32/7)	80.0%	82.1 %
再現率			57.5%	22.5 %	20.0%	—	—	—	—	—	—
適合率			88.5%	47.4 %	1.6%	—	—	—	—	—	—

4.6.1 学習用データによるパラメタの決定

まず学習用データを用いた実験により，式 (4.1) ~ 式 (4.4) の各定数の決定を行った．学習用対談データとして，雑誌「婦人公論」に掲載された対談記事 4 編を用いた．それぞれの記事について 4 ~ 6 人の被験者に提供し読んでもらった．被験者は，筆者の研究所内の研究員と職員，ならびにその家族であり，のべ 13 人である．このうちから，実験毎に 4 ~ 6 人の被験者を無作為に割り当てた．

実験では，対談文を印刷したものを被験者に渡し，これを気軽に流し読みして，読んでいて「話題が変わった」と思った箇所にチェックするよう指示した．チェックは，必ずそう思った時点で読んでいる箇所につけるものとし，決して過去に遡ってチェックをつけないように要求した．これはたとえば，ある時点で読んでいる箇所から得た情報に基づき，その箇所よりも以前の既に通過した箇所で話題が変わっていたと感じた場合でも，そこに遡ってチェックをするのではなく，そう感じた時点で読んでいる箇所にチェックをつけるようにするということである．この実験結果から，60% 以上の被験者が話題転換と判断した発話を話題転換があった発話として抽出した．以下このような発話を転換点，それ以外の発話を非転換点とよぶ．

なお，「気軽に流し読み」することを指示したのは，セグメント分割を意識し過ぎて記事を読むことによって対談の変容性が無効化することを極力抑えたかったことに

よる．また，遡ってのチェックを禁じたのは，先行不能性の無効化を避けるためである．被験者実験に先行不能性を求める理由は，4.2.1.3項で示した判断処理タイミングと判断材料の要請，すなわち遅延なき話題転換点検出手法を実現するためである．被験者に先行不能性を課さずに自由な先読みを許した場合，ある箇所における判断の結果は，先行不能性を課した場合と異なった結果となる可能性がある．あらかじめ完了された対談をセグメント分割する場合には，先行不能性を課さない方がより適切な分割結果を与えることは言うまでもない．しかし，進行中の対談をセグメント分割する場合には，このような先読み情報を利用する判断手法は適切でないし，そもそも適用できない．現実に人間は進行中の対談において，ある時点における話題転換の有無を，その時点より未来になされる発話からの情報は用いず，その時点までになされた発話のみから得られる情報に基づき判断し，その結果に基づき次の自分の行為を決定している．このような，人による進行中の対談における判断と，できるだけ同等の判断を実現するために，被験者実験に先行不能性の制約を課した．

被験者による転換点抽出結果を表 4.4に示す[6]．この結果に基づき，まず式（4.1）と式（4.2）の各定数を決定する．図 4.1と図 4.2に示すように，話題維持指数と名詞の話題維持寄与指数はいずれも 1 から 0 に漸近する関数である．そこで，両指数の値が 1 から 0 へ明瞭に変化する領域（すなわち値 0.5 を中心とする領域）を，被験者実験の結果から得られた，話題の転換が生じ易い発話数の領域におよそ一致させるように各定数を設定する．これによって，両指数による話題の維持ないし転換の判別の分離性能が良くなる．なお，これらの式には時間項が含まれているが，対象データが対談文であるので実際の時間は使えない．そこで，話題維持指数の算出においては 1 発話で t が 1 増加するものとし，名詞の話題維持寄与指数の算出においては t_w は文字数を時間の代わりとして使用する．

話題維持指数 C_n は，話題転換直後の話題転換の検出を抑制するために用いられるので，以下の考えに基づき各定数を決定する．

- 表 4.4から，話題転換は最短で 3 発話，平均 12.5 発話で発生し，標準偏差 σ が 7.9 である．
- そこで，ほとんど話題転換が起こらないと思われる，話題転換後 3 発話までの領域の C_n の値域を 1 ~ 0.5 とし，およそ（平均 $-\,\sigma$）発話にあたる 5 ~ 6 発話で $C_n \simeq 0$ となるようにする．

以上から，式（4.1）の定数をそれぞれ $r_C = 2.0$，$t_C = 6$ とした．

名詞の話題維持寄与指数 $N_{w,n}$ については以下のようにして定数を決定する．まず，語の現発話までの出現頻度に関係して，以下のように考える．

[6] たとえば，対談文 1 の場合，転換点は 11 箇所あるので，話題セグメントは 12 あることに注意．このため対談文 1 における 1 話題あたりの平均発話数は $136/11 \simeq 12.4$ ではなく，$136/12 \simeq 11.3$ となる．

- 表 4.4から，1 個の話題は平均 12.5 発話の間維持される．

- そこで，ある話題語は 12 回出現すると話題語としての機能が不安定になる（すなわち $N_{w,n}=0.5$ となる）と仮定する．

次に，語の出現間隔に関係して，以下のように考える．

- 人間の記憶の特性に基づき，語 w が前回使用された後，
  - 作動記憶のなかから消えないうちに再使用されれば，語 w は話題の維持に寄与し，
  - 作動記憶から消えた後に再使用されれば，語 w は話題の維持に寄与しない

  と仮定する．

- Murdock らの実験 [66] によれば，再生率 50% となる減衰時間は，作動記憶の使用量に応じて以下の通りである．
  - 1 チャンク[7]で 73 秒程度．
  - 3 チャンクで 7 秒程度．

  ただしこの実験は，維持リハーサル効果がない条件で行われている．

- 対談文を読む作業の場合にはチャンクは 3 以上使用されていると考えられる．また，ある語 w が使用されていない場合であっても，読んで得られる文の内容による，ある種の維持リハーサル効果があると考えられる．

- そこで，粗い仮定ではあるが，維持リハーサル効果を考慮して，語 w の使用後，20 秒程度で再生率が 50% 程度となるものとする．実験での観察から，被験者はほぼ毎秒 10.5 文字程度を読む．つまり，20 秒は 210 文字に相当する．

以上から，式（4.2）の定数をそれぞれ $t_N=35$，$f_N=2$，$r_N=6$ と設定した．

以上の定数を用いて，被験者実験に用いた対談文の各発話について広域結束性の強さを求め，それらを被験者実験による各発話における話題の転換・維持の結果と比較したところ，式（4.3），式（4.4）の各定数を以下の値にするとかなり高い精度で転換点・非転換点を分離できることがわかった

$$\begin{aligned}\alpha_C &= 0.935,\ \alpha_N=0.625,\ \alpha_S=0.935\\ \beta_C &= 0.750,\ \beta_N=0.535\end{aligned}$$

[7]チャンクとは人間の作動記憶の保持容量の単位である [17]．

α_C と β_C，および α_N と β_N を比べると，α_C，α_N の方がいずれも大きい値となっている．これは，断絶群の発話の方が話題が転換し易いため，より高い話題維持傾向がないと話題が維持できないだろうという直観と合致する．

表 4.5に，学習用データに対する処理結果を示す．表中（転 / 非）は，各群に含まれる転換点数と非転換点数を示している．最終判別成績とは，広域結束性も使用しての，最終的な判別成績である．認識成績の評価には再現率と適合率とを用いた．すなわち，被験者が抽出した転換点の数を T_H（表中の，転換点数），本システムが抽出した話題転換点の数を T_S（表中の，ある群に含まれる発話数），システムが抽出した話題転換点のうち，被験者が抽出したものと一致しているものの数（表中の，ある群に含まれる転換点数）を T_C とすると，再現率は T_C/T_H，適合率は T_C/T_S である．

表 4.5において，転換点が含有される割合（すなわち適合率）は，断絶群では非常に高く，連結群では非常に低く，不安定群では両者の中間程度であることがわかる．話題転換は全発話のうちの 7% 程度でしか発生しない比較的まれな現象である．このため，転換点の認識数をわずかに増やす（つまり再現率を向上させる）と，一方で誤認識数が大幅に増加し，適合率が悪化するという現象が一般に発生する．実際に表 4.5から，断絶要因だけを用いた話題転換検出処理を行う（つまり断絶群なら転換，それ以外は非転換とみなす）と，適合率は 88.5%（断絶群の欄下部の適合率）と高いが，一方 40 ある転換点のうち 17 もが認識もれとなるため再現率が 57.5%（断絶群の欄下部の再現率）と低い．そこでこの再現率を向上させるために不安定群の発話をも話題転換点とみなすことにすると，17 の認識もれのうち 9 箇所を認識可能となり再現率は 80.0%（断絶群 + 不安定群の欄の再現率の計）と高くなるが，一方で不安定群には非転換点が 10 含まれるため，適合率が 71.1%（断絶群 + 不安定群の欄の適合率の計）と低くなってしまう．しかし，最終判別成績に示すとおり，本手法で提案した広域結束性の併用によって，再現率を 80.0%（最終判別成績の欄の再現率の計）と維持したまま，同時に適合率も 82.1%（最終判別成績の欄の適合率の計）と，11% ほど高くすることが可能となる．

4.6.2 評価実験

4.6.1項で得たシステムパラメタを適用したプロトタイプシステムを用いて，評価用データについて実験を行った．実験では，4.6.1項で用いた対談文とは別の対談文 5 つを用い，まず各対談文について 4.6.1項と同様の被験者実験を行い転換点を抽出した．対談文は，評価実験の場合と同じく，婦人公論の対談記事を用いた．被験者の総数はのべ 8 人であり，1 実験あたりの被験者数は 4 人である．これらの被験者は，すべて学習用データにおける被験者とは異なる．表 4.6に，被験者による転換点抽出結果を示す．一方，これらの対談文をプロトタイプシステムで処理し，その結果と被験者実

表 4.6: 評価用データに対する被験者による話題転換点抽出結果

対談文	発話数	転換点数	1 話題あたりの平均発話数	標準偏差	最短話題構成発話数	最長話題構成発話数
A	113	7	14.1	5.9	4	23
B	131	9	13.1	4.6	5	22
C	114	9	11.4	10.3	2	34
D	85	6	12.1	4.8	4	19
E	105	10	9.5	6.7	2	24
合計	548	41	12.2	7.1	2	34

1 発話あたりの平均文字数	69

験結果を比較した．結果を表 4.7に示す．また表 4.8には，評価用データに対する判定の詳細を示す．この表において，転換正答，誤答，非転換正答，検出洩れとは以下のような意味である．

転換正答 転換点であり，かつシステムが話題転換と判定した発話．

誤答 非転換点であるにもかかわらず，システムが誤って話題転換と判定した発話．

非転換正答 非転換点であり，かつシステムが話題転換はないと判定した発話（ただし，連結群に属する発話については記載を省略している．）

検出洩れ 転換点であるにもかかわらず，システムが誤って話題転換がないと判定した発話．

表 4.8には，以上四つのそれぞれのカテゴリに属すると判別された発話の数を示す．なお，断絶群に分類されたものについては，さらに cue phrase をもつものか（表中では “cue” と表示），相手特定表現をもつものか（表中では “相手特定” と表示）も併せて示す．また，“比” として示しているのは，各カテゴリ内における，cue phrase，相手特定表現，不安定群，連結群のそれぞれに属する発話の数の，そのカテゴリに属する発話の総数に対する比である．また，cue phrase，相手特定表現，不安定群，連結群のそれぞれに含まれる転換点数と非転換点数も併せて示す．ここに，転換点数は転換正答数と検出洩れ数との和で与えられ，また非転換点数は誤答数と非転換正答数との和で与えられる．

表 4.7: 評価用データに対する本手法の適用実験結果

対談文	発話数	転換点数	局所結束性のみによる判別結果						最終判別成績		
			断絶群 (転 / 非)	不安定群 (転 / 非)	連結群 (転 / 非)	断絶群 + 不安定群 (転 / 非)	再現率	適合率	最終抽出箇所 (転 / 非)	再現率	適合率
A	113	7	9(6/3)	8(0/8)	96(1/95)	17(6/11)	85.7%	35.3%	11(5/6)	71.4%	45.5%
B	131	9	6(5/1)	7(1/6)	118(3/115)	13(6/7)	66.7%	46.2%	9(6/3)	66.7%	66.7%
C	114	9	6(5/1)	6(2/4)	102(2/100)	12(7/5)	77.8%	58.3%	8(6/2)	66.7%	75.0%
D	85	6	8(4/4)	5(0/5)	72(2/70)	13(4/9)	66.7%	30.8%	7(4/3)	66.7%	57.1%
E	105	10	7(6/1)	5(3/2)	93(1/92)	12(9/3)	90.0%	75.0%	10(9/1)	90.0%	90.0%
計	548	41	36 (26/10)	31 (6/25)	481 (9/472)	67 (32/35)	78.5%	47.8%	45 (30/15)	73.2%	66.7 %
再現率			63.4%	14.6 %	21.9%	—	—	—	—	—	—
適合率			72.2%	19.4 %	1.9%	—	—	—	—	—	—

表 4.8: 評価用データに対する判定の詳細

対談文	転換正答			誤答			非転換正答			検出洩れ			
	断絶群		不安定群	断絶群		不安定群	断絶群		不安定群	断絶群		不安定群	連結群
	cue	相手特定		cue	相手特定		cue	相手特定		cue	相手特定		
A	3	2	0	0	2	4	1	0	4	1	0	0	1
B	3†	3†	1	0	1	2	0	0	4	0	0	0	3
C	3	2	1	0	1	1	0	0	3	0	0	1	2
D	4	0	0	0	2	1	2	0	4	0	0	0	2
E	2	4	3	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1
計	15	11	5	0	7	8	3	0	17	1	0	1	9
比	50.0%	36.7%	16.7%	0%	46.7%	53.3%	15.0%	0%	85.0%	9.1%	0%	9.1%	81.8%

	転換点数（転換正答数 + 検出洩れ数）	非転換点数（誤答数 + 非転換正答数）	合計
cue phrase	16(15+1)	3(0+3)	19
相手特定	11(11+0)	7(7+0)	18
不安定群	6(5+1)	25(8+17)	31
連結群	9(0+9)	472(0+472)	31

† 対談文 B には転換点に cue phrase と相手特定表現を同時にもつ発話が
1 個存在していたので，これを重複カウントしている．

4.6.3 考察

4.6.3.1 明瞭な話題転換点の存在の検証

本項では，4.2.1.3項で述べた，話題転換点は明瞭な話題転換点と曖昧な話題転換点に 2 分されるという予測と，明瞭な転換点抽出のための被験者数の閾値の妥当性について検証する．まず，実験における話題転換点検出傾向について見る．4.6.1項と 4.6.2項で示した学習用ならびに評価用の被験者実験において，1 人以上の被験者によって話題転換が起きたと判断されたすべての箇所について，何人の被験者が各箇所を話題転換ありと判断したかを表 4.9に示す．1 人の被験者が話題転換を検出する平均間隔（発話数）も併せて示す．このように，1 人だけが転換点と判断した箇所は 94 箇所（全体の 44.5%）と最も多く，2 人が同時に転換点と判断した箇所は 36 箇所（17.1%）に減少するが，3 人以上が同時に転換点と判断する箇所は 81 箇所（38.4%）と再び増加する．

次に，被験者による話題転換点の検出傾向について理論的な予測を行う．今，ある被験者がある発話において話題転換があると判断する確率は，すべての発話について均等であると仮定する．これは，すべてが曖昧な話題転換点であると仮定することにあたる．この仮定のもとで，1 人の被験者が平均 n 発話につき 1 回話題転換があると判断する場合，ある被験者がある発話で話題転換があると判断する確率は $1/n$ であ

表 4.9: ある箇所について話題転換ありと指示した被験者の数

1 人だけが転換点と判断した箇所	94
2 人の被験者が転換点と判断した箇所	36
3 人以上の被験者が転換点と判断した箇所	81
1 人の被験者が話題転換を検出する平均発話数	10.56

る．m 人の被験者がいる場合，ある同一発話を i 人 $(0 \leq i \leq m)$ が同時に話題転換点と判断する確率 $P_i^{(m)}$ は，

$$P_i^{(m)} = {}_m\mathbf{C}_i \left(\frac{1}{n}\right)^i \left(\frac{n-1}{n}\right)^{m-i}$$

で与えられる．この確率分布は二項分布となるが，4.6.1項と 4.6.2項で示した学習用ならびに評価用の被験者実験における被験者数 $m = 4 \sim 6$ と，話題転換検出間隔 $n = 2 \sim 34$ 程度では，ごく n が小さい場合を除いて，$P_0^{(m)}$ または $P_1^{(m)}$ を極大として i の増加とともに単調減少する．特に表 4.9に示した，実験における 1 人の被験者の平均話題検出間隔 $n = 10 \sim 11$ 程度では，m にかかわらず i の増加に伴って確率は急激に低下し，$P_3^{(m)}$ 以上はほぼ 0 に等しくなる．

ところが，表 4.9に示す通り，実験結果では 3 人以上の被験者が一致して話題転換ありと判断する箇所が，以上の予測に比べて非常に多い．このことは，この判断の一致が偶然の一致によるものでないことを示していると言える．つまり，話題転換点のすべてを曖昧な転換点として扱うことは誤りであり，現実には多くの人が一致して話題転換点と判断しうる発話，すなわち明瞭な話題転換点が存在し，しかもその数は少なくないことが示唆される．また，この予測と実験結果の比較から，明瞭な話題転換点を抽出するには，n の値が小さい場合などには $P_2^{(m)}$ は無視できない程度に大きい場合があり，2 人によって一致して抽出された発話が曖昧な転換点の偶然の一致かあるいは明瞭な転換点なのかを判別しにくい可能性が残るが，$P_3^{(m)}$ 以上は十分に小さくなるため，3 人以上の被験者が一致して話題転換と判断する箇所を抽出すれば，ほぼ偶然の一致の影響を受けずに明瞭な転換点を抽出可能となることがわかる．

以上から，被験者数に幅があっても，基本的に 3 人以上が一致する話題転換点を検出することで，検出精度の問題は生じないと言える．なお，実験ではより確実に明瞭な転換点のみを抽出できるよう，人数の閾値を被験者総数の 60% 以上とした．しかし，閾値を「3 人以上」としても，抽出結果に差はなかった．

4.6.3.2 提案した手法の処理性能

表 4.7からわかるように，評価用データにおいても，局所結束性のみによる判別（断絶群と不安定群に属する発話ですべて話題転換とみなす）では再現率は 78.5% と

高いが，適合率は 47.8% と低い結果となっている．一方，広域結束性を併せて使用すると，再現率は全体として 73.2% となり 5.3% ほど下がるが（しかし，対談文 B,D,E については低下しない），適合率はすべての対談文について改善され，全体で 66.7% と 18.9% も向上することがわかる．

次に，判別の詳細について検討する．表 4.8から，転換点の多くは，やはり断絶群に含まれていることが分かる．ただし，従来から一般的に使用されている cue phrase を含む転換点は 15 点で，転換正答のうちの 50.0%，全転換点の 36.6% に留まる．一方，新たに導入した断絶要因である，「相手特定表現」を含む転換点は 11 点あり，転換正答のうちの 36.7%，全転換点の 26.8% を占めており，この両者を合算することによって，断絶要因による判別成績は再現率 63.4%，適合率 72.2% とかなり良好な値となる．このことから，相手特定表現も基本的に断絶要因として機能することが示されたといえる．

ただし，相手特定表現を含む 18 の発話のうち，転換点は 11 しかなく，cue phrase に比べ話題転換発生の確率は低い．そこで広域結束性を用いることによって非転換点を分別すべきであるが，表 4.8からわかる通り，相手特定表現をもつ 7 個の非転換点はすべて誤答となっており，分別はうまくいっていない．

誤答となった相手特定表現を含む 7 個の発話の内容について調べたところ，うち 6 例が以下のような短い発話であった．

「A さんはどう思われますか？」

このような発話では，明らかに「～について」の部分が省略されている．したがって，共有語や名詞による維持力の判定が機能できないため，相手特定表現の存在のみが判断材料となり誤った判定を導いていると言える．この問題の解決のためには，本来はゼロ照応の解析技術が必要である．しかし，上記例のような相手特定表現を含むごく短い発話であり，かつ「を」格などにゼロ照応が存在することだけが検出できれば，その照応先を具体的に解決するまでもなく，そこには明確な話題語が共有語として存在するものとみなせる可能性が高い．したがってこのような場合には非転換と判断するアルゴリズムを追加することによって，誤答を減らし精度（適合率）を向上させることが可能と思われる．

相手特定表現を含む発話については，誤答における上記の例のみならず，学習用データならびに評価用データに出現する 24 例のうち，22 発話において S_n が 0 となっており，しかも 17 発話には同一語が存在しないという顕著な特徴があった．このような状況では式（4.3）における S_n を用いての判別は無意味であるのみならず有害であろう．また，N_n も全般に低い値をとり，平均 0.06，最大値が 0.3 であった．一方，C_n については Cue phrase の場合と分布にあまり大きな差はない．Cue phrase と相手特定表現とは，上に述べたように話題転換発生の確率に差があり，そのような二つの要因に対して，同じ式（4.3）によって分別を行なっていることには無理

がある可能性がある．相手特定表現に特化した判別を行なう必要があるか，必要があれば閾値をどのような値にすれば良いかは，今後の検討課題である．

また，相手特定表現を含む発話における誤答の残り 1 例は次のような発話であった．

「B さん，やっぱり通販は安いですか？」

これは先の例同様ごく短い発話であるが，共有話題語「通販」が陽に含まれていた．ただし，これは実は対談全体を通しての大局的な話題語であったため，話題維持力が低く評価され，その結果誤って転換と判断されていた．この例の場合，本当の局所的話題の話題語は，述部に含まれている「安い」であった．この発話の数発話前から局所的話題として「通信販売は安いか」という話題が展開していたため，被験者はここを非転換と判断したものと思われる．このように，話題語が体言ではなく用言として出現する場合，現状の手法では判別できない．話題語としての用言をどう扱うかも今後の課題である．

一方，cue phrase を含む発話に対しては広域結束性による発話の分別はうまく機能しており，検出洩れが 1 個あるが，誤答はない．これは，cue phrase が使用される発話では，一般に話題語が陽に提示されるため，広域結束性がうまく機能し易いためと考えられる．特に，cue phrase があるにもかかわらず話題転換がなかったとみなされるような，従来は例外的と思われていたような発話を 3 箇所非転換正答として分別できているのは，広域結束性を導入したことの明確な効果であると言える．この内の 1 個を例示する．

1) 「終末観ですか．われわれの周りにも終末論者はたくさんいましてね．それは精神分裂病者なんですよ．精神分裂病の初期の症状に，世界没落感というのがあります．」
2) 「終末観は僕にもあるけど，じゃあ 僕も精神分裂病かな．」
3) 「われわれの中にもあるからこそ，彼らも感じるわけですよ．（以下略）」

この例の発話 2) で cue phrase 「じゃあ」が現れている．単純な cue phrase 検出では，「じゃあ」を cue phrase として登録している限り，ここを話題転換点として検出する．しかし現実には，被験者によって発話 2) は転換点として検出されていないし，実際この部分を読むだけでも，この「じゃあ」は話題を変える機能は弱いことが意味的には把握できるだろう．本システムによる処理では，「終末観」と「精神分裂病」，「世界没落感」の 3 個のキーワードが発話 1) で初出であり，続く発話 2) において前 2 者が共有語となっているため，この両語の名詞の話題維持寄与指数 $N_{w,n}$ が非常に大きくなる（ともに 1.0 である）．したがって，これらに基づく共有語による発話 2) の話題維持寄与指数 S_n は 1.0 となり，しかも，発話 2) にはこの 2 個しかキーワードがないため，名詞による話題維持寄与指数 N_n も 1.0 となる．この結果，広域

結束性による連結力が cue phrase による断絶力を上回るため，システムは発話 2) は話題転換点ではないという正しい結論を導いている．

cue phrase を含む転換点で唯一の検出漏れは，その 2 発話前の発話をシステムが転換点と判断していたため（これは誤答であった），話題維持指数 C_n が大きくなってしまっていたことが原因となっている．このように C_n はシステムの過去の誤った判断の影響を後に及ぼしてしまう点で，両刃の剣となる可能性は否定できない．しかし，断絶群と不安定群あわせて検出漏れが 2 箇所しかないことから，C_n によるこのような悪影響は，比較的小さいということが示唆されている．

不安定群の発話に対する広域結束性による分別もほぼ有効に機能している．不安定群には 25 の非転換点が含まれているが，このうちの 68% にあたる 17 発話が広域結束性によって非転換正答として分別されている．しかも広域結束性による分別によって生じる検出洩れは，1 個発生しているのみである．

なお，不安定群において誤答となった 8 個の発話の内容を調査してみたが，明確な表層的特徴を得ることはできなかった．また，現在はすべて検出洩れとなっている，連結群に含まれる転換点を分別する方法も今のところ得られていない．このような発話を処理できるようにするための対策として，先に述べた用言を話題候補語として扱うことや，ゼロ照応を含めた各種の照応関係を解析することなどにより，局所結束性と広域結束性の両方を拡張する手段が考えられる．これらの拡張は，今後の課題である．

なお，以上において広域結束性による判別には，式（4.3），式（4.4）に示す単純な閾値処理を用いてきたが，判別分析法の導入により判別精度が向上する可能性もある．これについても今後の検討解題である．

4.7 おわりに

本章では，発話の時間推移が重要な役割をもつ不特定分野の自由対談文について，局所結束性に加え時間推移情報を考慮した広域結束性を用いることにより，話題の維持傾向の強さが弱まる箇所において話題転換が生じ易いことに着目したセグメント分割手法を提案した．つまり，まず局所結束性によるカテゴリー分類によって，前発話に対する連結力の弱い発話を抽出する．さらに，それらについて，疑似的な一貫性としての広域結束性を用いて話題の維持力が弱い発話を選び出し，これらを話題転換点とみなすのである．提案したアルゴリズムを雑誌に掲載された対談文に対して適用した評価実験を行った結果，以下のことがわかった．

- 対談文においては，従来から話題転換の明示的要因として使用される cue phrase のほかに，相手特定表現も話題転換を示す要因とみなすことができる．

- 広域結束性による分別アルゴリズムは，cue phrase を含む発話と，一切の局所結束性の要因を含まない不安定群発話に対して有効に作用し，再現率を維持しつつ適合率を向上させることが可能である．

- 相手特定表現についても，簡単なゼロ照応検出機能を追加することによって，適合率を向上させる可能性がある．

本手法で用いている局所結束性および広域結束性は，ともに現発話とそこまでの対談でなされた発話における形態素情報および時間情報のみから得られ，現発話以後の発話についての情報を一切必要としない．また，それらの結束性の獲得のために特定分野に依存した知識や plan 知識なども必要としない．したがって，本手法は対談の変容性と先行不能性を侵さず，しかも目的指向型対話や特定分野の対談に対しても適用することが可能である[8]．

[8]ただし，本手法を，特定の話題分野の対話や目的指向型対話を対象とした従来手法と比較した場合，従来手法が処理対象として想定している種類の対話に対する処理精度は，一般に従来手法の方が高いであろう．

第 5 章

マルチエージェントによる対話支援環境の実現

5.1　はじめに

第 4章までで，発散的思考を触発する情報を抽出する手法，ならびにグループによるインフォーマル・コミュニケーションにおける対話を無遅延的にセグメント分割する手法を検討してきた．本章ではこれらの技術を統合することにより，より自律的に適切な情報を適切なタイミングで提供できるようにするとともに，発散的思考のみならず，グループによる対話における創造性を総合的に支援するシステムの構築について述べる．

創造的活動では，一般に決められた作業手順が存在せず，グループのメンバは，多様な思考・作業モードを様々に遷移しつつ，全体としての創造的活動を進めていく．このような活動を支援するシステムは，グループウェアの一種である「会話コーディネーションシステム」と呼ばれる範疇に属するものとなる．しかし，この範疇のシステムが取り扱う対話に対するモデル化と，それに基づくグループウェアシステムの設計についての議論は，まだ十分にはなされていない [89]．モデルの一例として，Winograd らが提案した会話の可能性の状態遷移モデルがある [119] が，これはある一つの要求に対する作業の完了までをモデル化したものであるため，本研究で取り扱おうとしているグループ思考全体のモデルとするには無理がある．

そこで本章では，まずグループによる創造的思考（以下これをグループ思考と呼ぶ）過程をモデル化する．ついで，このモデルに基づき開発したグループ思考支援環境 AIDE(Augmented Informative Discussion Environment) について説明する．さらに，この開発経験から，グループ思考を処理対象とするシステムの構築には，マルチエージェントアーキテクチャを採用することが，一つの効果的な手段であることを示す．

以下，5.2節では，グループ思考作業全体をモデル化し，そのモデルに基づき，グループ思考作業をいくつかの基本タスクに分割する．5.3節では，グループ思考支援環境 AIDE の全体構成，個々のタスクの支援を行うエージェントの機能とその相互

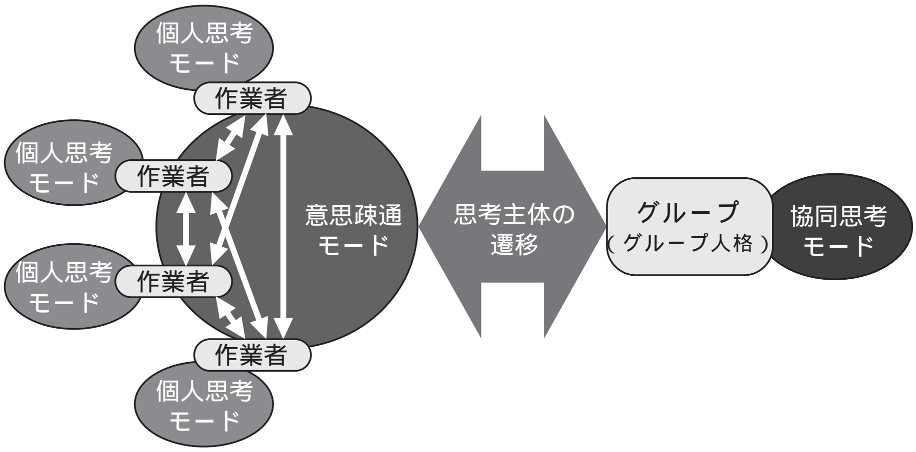

図 5.1: グループ思考モデル

作用について説明する．5.4節では，AIDE の開発および試用経験に基づき，グループ思考支援システムをマルチエージェントアーキテクチャに基づき構築することによる，利点と特長について述べる．5.5節はむすびである．

5.2 グループ思考モデルと基本タスク

5.2.1 思考主体の遷移に基づくグループ思考モデル

グループ思考の基礎は，その構成員である作業者個々の思考である．しかし，単なる個人の思考の寄せ集めでは「グループ思考」を実現できない．作業者同士が相互作用し，しかも有機的に協調して思考作業を行なうことによって，はじめてグループ全体としての思考を実現できる．そこで本研究では，個人としての思考とグループとしての思考の間で，思考主体が相互に遷移する過程が存在することに着目し，グループ思考を (1) 個人思考モード，(2) 意思疎通モード，(3) 協同思考モード [1]の三つのモードから構成される思考過程としてモデル化する．図 5.1に，上記三つのモードの関係の概念図を示す．

個人思考モードとは，グループ中のほかの作業者との相互作用を行なわない，個人に閉じた思考モードである．個人思考モードの目標は，個人としての意見や主張の確立，自分なりのアイデア創造である．

意思疎通モードとは，協同思考の事前準備としての相互理解のための作業を，グループ中のほかの作業者と相互作用しながら行なうモードである．意思疎通モードの目標は，個々の作業者のある事物に対する捉え方・考え方，ならびに個人思考モードで形成した意見・主張・アイデアを相互に正確に伝達し理解することである．意思疎通モードでの作業によって，バラバラだった個々の作業者の思考が次第に融合され，

[1]本章では，基本的に「共同」は cooperation に，「協同」は collaboration に対応する意味で使用している．

全体としての意思統一が図られる．この結果グループは，個人が有機的に結合され，全体として一個の人格をもつかのように振舞う，一つの思考主体に変化すると見ることができる．この仮想的主体を，以下ではグループ人格と呼ぶ．つまり意思疎通モードは，個人思考モードから協同思考モードへの，思考主体の遷移の橋渡しを行なうモードである．

こうして形成されたグループ人格によって，個人思考モードと同様の思考作業を行なうのが協同思考モードである．したがって協同思考モードの目標は，グループ全体としての意見や主張の確立，アイデア創造である．

個人思考モードから協同思考モードへは，意思疎通モードを一切介さずに遷移することはできない．しかし，一旦意思疎通モードである程度の意思統一が図られれば，その後は各モード間の遷移はスムースに行なうことができ，実際にそれぞれのモードの間を複雑に行き来しながら，漸進的にグループ思考作業が進行するのが一般的と思われる．なお，意思疎通モードおよび協同思考モードでの作業は，必ずしも作業者全員によるグループで行なわれる必要はなく，3 人以上のグループでは，その一部のメンバーで構成されるサブグループによって行なわれる場合もありうる．

5.2.2 各モードにおける基本的タスク

5.2.2.1 個人思考モードと協同思考モード

5.2.1項で示したように，本モデルでは個々の作業者が創造したアイデアを基礎とし，それらのアイデアを作業者が相互に理解し合うことによって融合し，さらにグループ全体として改良発展させることで最終的なアイデアを生み出す．したがって，個人思考モードにおける思考はいわゆる創造的問題解決のプロセスと考えることができ，さらに，個人思考モードと協同思考モードの作業内容の相似性により，協同思考モードの思考も創造的問題解決のプロセスであるとみなせる．

創造的問題解決過程のモデルとして，本研究では國藤の提案するモデル [55] を採用しているので，個人思考モードと協同思考モードは，以下の 4 タスクで構成されるものとする．

発散的思考タスク 問題に対する関連情報を幅広い視野から抽出する．

収束的思考タスク 集積した全情報を構造化し，本質的情報のみを抽出することによって，問題の本質にあたる仮説を形成する．

アイデア結晶化タスク いくつか得られた仮説を評価し，そのなかから最も有効と思われる仮説を採択する．

評価・検証タスク 採択された仮説を現実世界に適用し実証する．また，そのための実行計画などを策定する．

なお，発散的思考と収束的思考とは実際には明確に分割できず，しかも頻繁に両者の間を行き来することが指摘されている [90]．つまり，作業は発散的思考タスクから評価・検証タスクへと一方向的に流れるわけではない．

5.2.2.2 意思疎通モード

このモードでは，作業者相互の事物の捉え方・考え方，意見やアイデアの一致点と相違点を明確に洗い出すことが重要である．さらに，他者の視点で自分の考えを見るとどう見えるかなどの思考上のシミュレーションを重ねることにより，作業者の相互理解を促進することが求められる．

そこで本章では，作業者の意思が視点と知識の 2 個の情報によって表現されるとみなし，本モードにおける思考作業を以下の三つのタスクに分割する．

視点と視点の重畳タスク 複数の視点を重ねあわせ，あらたな視点を生み出す．

視点と知識の重畳タスク ある視点によってある知識を再構造化する．

知識と知識の重畳タスク 複数の知識を重ねあわせ，その差を顕在化させると共に，新たな知識構造を作り出す．

ここで視点とは，情報断片を構造化する枠組のこと，あるいは逆に構造化された情報の構造（情報断片の相互の関連）のこととする．また，知識とは，体系づけられた構造をもつ情報断片の集合，すなわち，ある視点によって構造化された情報のこととする．

ハイパーテキストにおけるリンクで表現される情報構造は，視点の典型例である．この構造は，ある文脈や状況における，そのハイパーテキストを構築した人のもつ，対象とする情報断片群に対する捉え方を表している．こうして構成されたハイパーテキストは，知識の典型例である．本研究では，5.3.3項で示すように，個々のテキスト断片におけるキーワードの共有・共起関係をもとに，統計処理の手法によって情報の構造化を行う．この結果，グループ人格の視点と知識が仮構築される．

5.2.3 野中と竹内による知識創造モデルとの比較

文献 [86] において，野中と竹内は組織による知識創造の理論を提案している．本項では，このモデルと，5.2.1項で示したモデルとを簡単に比較する．

野中と竹内は，組織による知識創造には二つの次元が存在することを指摘している．すなわち，認識論的次元（epistemological dimension）と存在論的次元（ontological dimension）である．存在論的次元とは，知識を創造する主体にかかわる次元であり，たとえば，個人，グループ，組織，複数組織などのレベルに分類される．認識論的次元は，知識のレベルにかかわる次元であり，形式知（explicit knowledge）と暗黙知（tacit knowledge）とに分類される．

野中と竹内はまた，知識変換の理論を提案している．この理論では，新しい知識は次の四つの知識変換モードを通じて創造される．すなわち，共同化，表出化，連結化，内面化の 4 モードである．共同化モードでは，経験の共有や対話によって，暗黙知が個人からその他の人（々）へ伝達される．表出化モードでは，メタファやアナロジーなどの使用によって，明確な概念として言語的に表現することにより，暗黙知を形式知に変換する．連結化モードでは，表出化モードで得られた概念を統合することにより，新たな組織化された知識を創造する．言い換えれば，既存のいくつかの別々の形式知の組合わせによって，新しい形式知が創造される．内面化モードでは，「行動による学習（learning by doing）」を通して，形式知が暗黙知へと変換される．したがってこのモードでは，記録やマニュアル，あるいは物語などを読むことによって，他者の体験を追体験することが重要となる．

野中と竹内による知識変換の理論では，このように主として暗黙知と形式知との相互変換に焦点がおかれている．すなわち，彼らのモデルは主に認識論的次元の観点から構築されていると言える．彼らはまた，個人間の相互作用についても考察しており，組織（グループ）自体は知識を創造し得ず，個々の個人の暗黙知が組織による知識創造の唯一の基礎であり，これらの個々の暗黙知が，上記の四つの知識変換モードを通して組織的に増幅されることによって，結果的に存在論的次元の高いレベルにおいて新たな知識が結晶化すると指摘している．このように，この知識創造の過程では，知識変換のループが個人のレベルで開始され，それが次第にグループや組織へと，螺旋状に上昇していく．このため，彼らはこのプロセスを「知識スパイラル」と読んでいる．

本研究でも，組織による知識創造の基本は，個人のもつ知識にあると考えている．しかしながら，本研究で提案したモデルは，認識論的次元よりはむしろ存在論的次元の観点から構築されている．特に，本研究のモデルでは，考え方も知識もばらばらの個々人が，いかにして一貫性のあるグループの構成員に変化していくかに焦点をおいている点で，野中と竹内によるモデルと異なっている．したがって，野中と竹内によるモデルと，本研究のモデルとは相補的であると言える．また，野中と竹内によるモデルでは，組織における知識創造のモデル化それ自体に研究の焦点がおかれており，そのモデルによる知識創造（支援）システムの構築についての議論はなされていない．

5.3 グループ思考支援環境： AIDE

本節では，5.2節で述べたモデルに基づき開発を進めている，グループ思考支援環境 AIDE について説明する．本研究では，AIDE の構築にあたり，マルチエージェントアーキテクチャを採用した．すなわち AIDE では，5.2.2項で述べた各タスクを個々に支援するエージェントを準備し，これらのエージェント群が，作業者である人

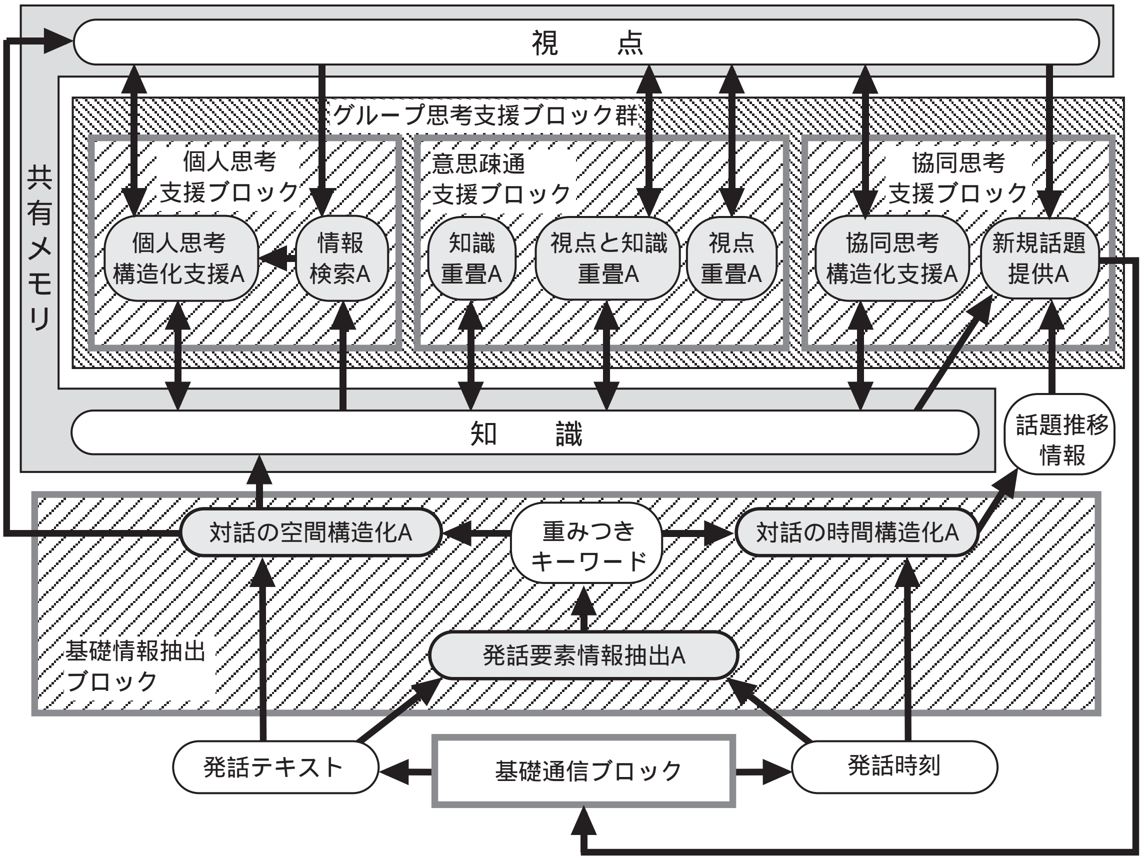

図 5.2: AIDE を構成する機能ブロックとエージェント群

間も含めて協調的に動作することにより，全体としてグループ思考作業を進めていく．以下では，まず AIDE の概要を紹介し，ついで各タスクを支援する個々のエージェントの機能と，他エージェントとの相互作用について説明する．

5.3.1 AIDE の概要

AIDE のシステム内部は，全体として五つのブロックで構成されている．各ブロックとエージェントの関係を図 5.2に示す．図中，たとえば「情報検索 A」とは「情報検索エージェント」のことである．また，矢印は各種データの流れを示す．

AIDE は，キーボードからタイプ入力される対話を処理の基礎とする，非対面・半同期型のデスクトップ対話環境である．AIDE は，外見的にはサーバ・クライアント型のシステムであり，各作業者は自席のワークステーション上でクライアントを起動し，サーバと接続して対話を行う．図 5.3に，クライアントでの AIDE のユーザインタフェース画面を示す．

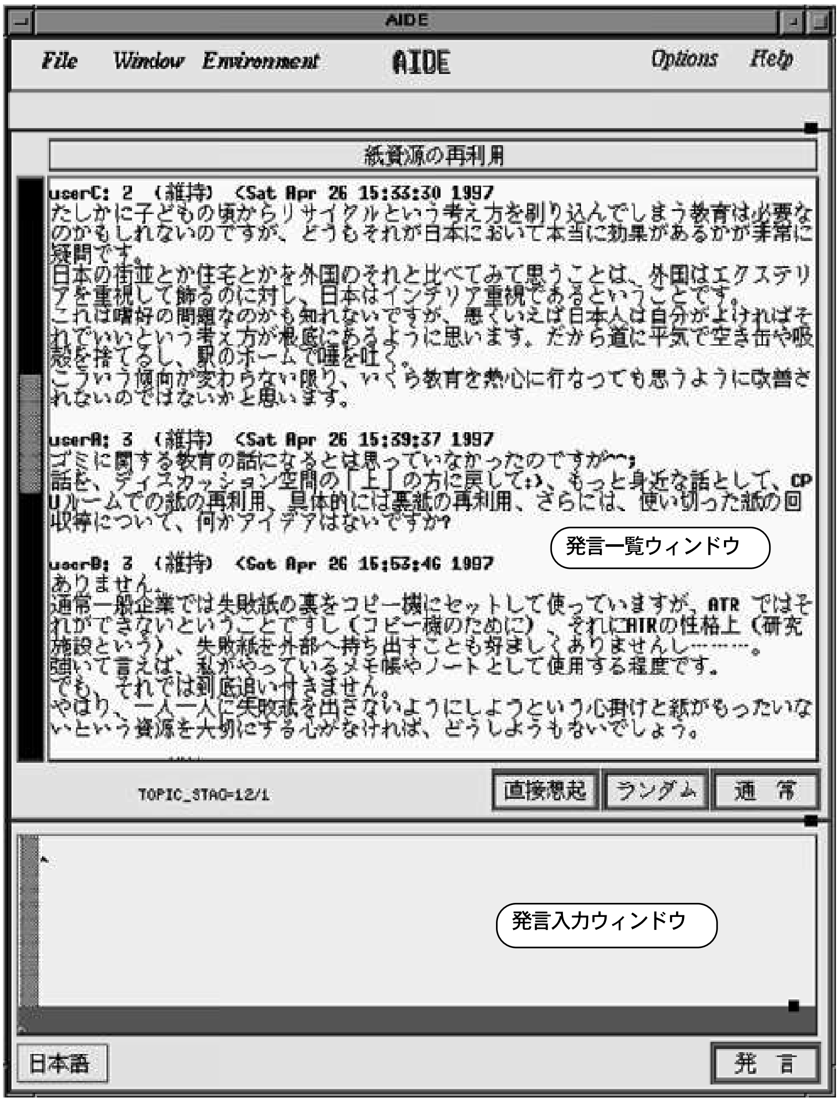

図 5.3: AIDE のユーザインタフェース画面

5.3.2 基礎通信ブロック

基礎通信ブロックは，AIDE のすべての処理の基礎となる，作業者同士の対話機能を提供する．この対話機能を使用して行なわれる作業者同士の対話から，個々の発言を発話テキストとして，その発言のなされた発話時刻情報とともに取り出す．

図 5.3の上半分が発言一覧ウィンドウ，下半分が発言入力ウィンドウである．作業者は，発言入力ウィンドウからタイプ入力により発言を入力し，右下にある発言ボタンを押して発言をサーバに送信する．サーバでは，受信した発言に対し，後述する各種のエージェントによる処理を施した後，接続されている全クライアントに発言を配信する．クライアントは，新たな発言を受け取ると，その発言を発言一覧ウィンドウに表示する．

AIDE は複数の対話スレッドの共存と並行進行をサポートする．発言一覧ウィンドウ上部にあるスレッド名が表示されている部分を押すとプルダウンメニューとして進行中のスレッド一覧が表示されるので，作業者はそのなかから任意のスレッドを選択することにより，随時自由に希望のスレッドに参加できる．

5.3.3 基礎情報抽出ブロック

基礎情報抽出ブロックは，基礎通信ブロックで得た対話情報に基づき，作業者および残る 3 ブロックの各エージェントに対し，各種思考および思考支援作業の素材となる情報を抽出，提供する機能をもつ．本ブロックは，次の三つのエージェントで構成される．

発話要素情報抽出エージェント　本エージェントは，発話が 1 個入力される都度，その発話テキストから重み付きキーワードを抽出する．キーワードの抽出ならびに重みづけの手法は，3.2.1.1項で示した発言文処理モジュールにおける処理手法と同じである．

対話の空間構造化エージェント　本エージェントは，発話要素情報抽出エージェントが抽出した重みつきキーワードを用い，話題空間を構築することによって対話の構造化を行う．話題空間の構築手法は，3.2.1.2項で示した対話構造化モジュールにおける手法と同じである．この結果得られる話題空間は，各作業者によって提出された情報断片群が構造化された「グループの知識」であり，またこの空間の基底などの構造情報は「グループの視点」を表現する情報であると言える．

図 5.4は，図 5.3に示されている対話を 2 次元空間構造として表現した例である．この話題空間を見ることによって，どのような話題が展開しているかを容易に一覧でき，さらに，たとえば図 5.4で中心から右上に延びていく話題の方向性は何なのか，あるいは図中で発言アイコンが配置されていない空白領域にはどういう話題ないし概

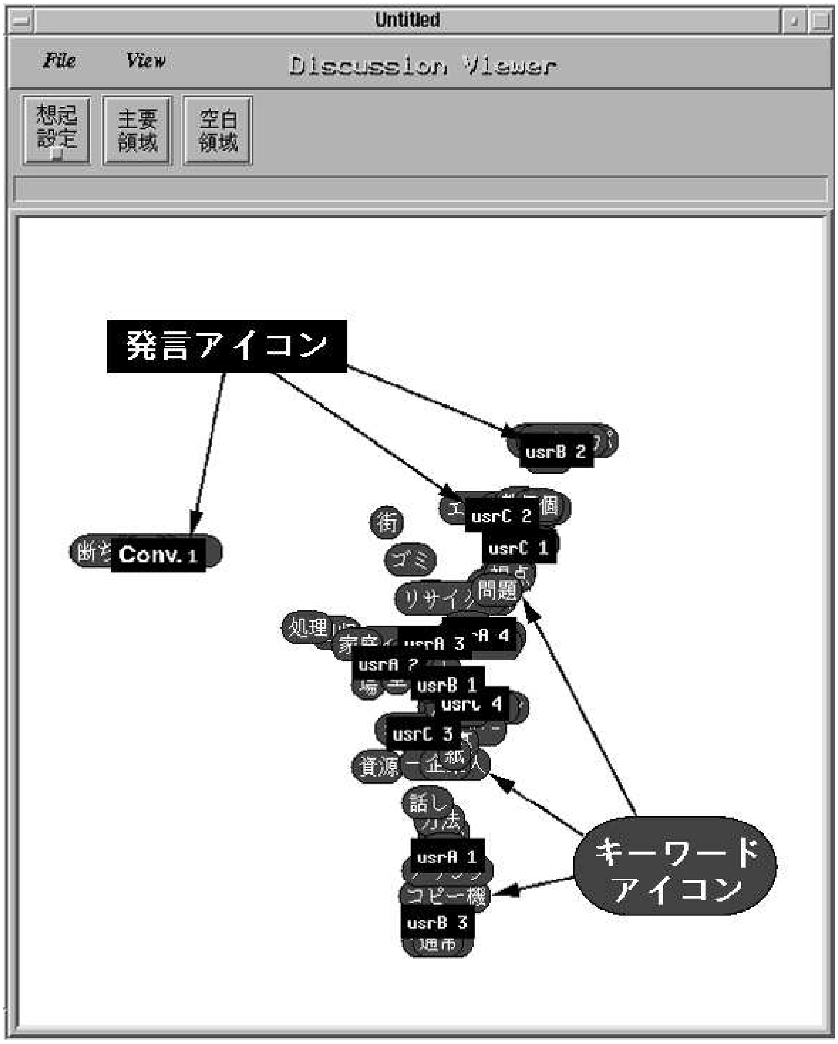

図 5.4: 話題空間の例

念があるべきなのかを考察することなどにより，作業者は自己の固定観念に気づき，新たな発想の展開方向を見いだすことができるようになると期待される．

ただし，本エージェントが構成する知識と視点は，そのままでは精錬度が低い．そこで，このグループの知識と視点を，後述するグループ思考支援ブロック群の各エージェントに対して，共有メモリを介して提供すると同時に作業者に対しても提示し，エージェントと作業者が協調してその精錬化を進めることにより，最終的なグループの知識と視点の構築を行う．

対話の時間構造化エージェント　本エージェントは，対話をその内容の変化に基づき時間軸上でセグメント分割することにより，話題の転換を検出する．具体的な手法は，第4章で示した手法と同じである．この結果，対話の時間構造という，空間構造とは別の対話状況が獲得される．こうして得られる話題推移情報は，後述する新規話題提供エージェントに対して提供される．

5.3.4 グループ思考支援ブロック群

グループ思考支援ブロック群は，個人思考支援ブロック，意思疎通支援ブロック，および協同思考支援ブロックの三つで構成されている．これらの各ブロックは，5.2.1項で示した各思考モードに 1 対 1 対応しており，各ブロックに含まれるエージェントは，そのブロックに対応する思考モードにおける，いずれかの思考タスクを支援する．エージェントは，共有メモリを介して意思情報（すなわち，視点と知識）をやりとりすることによって協調的な作業を実現する．各エージェントは，共有メモリ上にある各種の視点と知識から必要なものを取りだし，自律的に，あるいは作業者の指示に従って各エージェント固有の処理を加え，その結果更新された視点と知識を再び共有メモリに対して返戻する．なお，作業者に対して共有メモリから取り出した知識を提示する場合は，現在の実装では常に図 5.4と同様の 2 次元空間構造として提供する．

5.3.4.1 個人思考支援ブロック

本ブロックは，個人思考モードの各タスクを支援するエージェント群で構成される． AIDE では，現在以下に示すエージェント群を実装している．

個人思考構造化支援エージェント 本エージェントは，主として収束的思考タスクの支援を担当する．本エージェントは，作業者が指示した知識を共有メモリから取りだす．作業者は，本エージェントと協力して取り出した知識の精錬化を行い，自分の思考構造を具現化していく [106]．具体的には処理対象となっている知識，すなわちある時点における話題空間あるいは既にその他の作業者によって構築され公開されている個人思考空間（後述）上にある発言オブジェクトおよびキーワードについて，作業者の思考の焦点から外れるようなものは削除する．また，空間上に残すキーワードについては，各発言オブジェクトにおける重要度を必要に応じて変更する．また，特に関連があると思われる情報（たとえば，後述する情報検索エージェントが提供する情報や個人的なメモなど）があれば，それをあらたに 1 個の発言オブジェクトとして空間に追加することもできる．以上の処理を終えたら，作業者は本エージェントに空間の再構築を指示する．本エージェントは更新された発言オブジェクト，キーワードおよびキーワード重みを用いて，双対尺度法 [81] によって空間の基底を求め，その上に発言オブジェクトおよびキーワードを配置する．こうして得られた空間を作業者が再び検討し，必要ならば再度以上の処理を行って空間の精錬化を繰り返す．以上の精錬化を通じて，最終的に構成された空間を個人思考空間と呼ぶ．できあがった個人思考空間は，作業者の指示によって共有メモリに返戻される．

個人思考空間は，作業者があらたに追加した情報を除けば，もともとは対話に参加している作業者全員から出された発言およびそれらが含むキーワードで構成されてい

る．しかしながら，個人思考空間の構築過程における精錬化の結果，ひと通り完成された状態の個人思考空間では，その空間の基底はもちろん，空間に含まれる発言オブジェクトならびにキーワードそのものも，それらの本来の発言者の手を離れ，個人思考空間を構築した作業者個人の知識を反映したものになっていると言える．

従来の文献 [60, 64, 53] などの KJ 法ベースのシステムとの差は，これらのシステムでは作業者が空間構造のすべてを決定していたのに対し，AIDE ではエージェントが作業者に協力して空間構造を形成していく点にある．これによる第一の利点は，構造再構成の試行錯誤が容易となることである．作業者は思考空間を構造化するにあたって，あらかじめ具体的な最終イメージをもたず，試行錯誤を通して最適な構造を見出すのが一般的であろう．しかし，従来のシステムでは，一度作り上げた構造を崩して別の構造を作ることは作業量的に容易でないため，最初にできあがった構造で妥協してしまうことが危惧される．しかし AIDE では，エージェントが高速な構造化を行うため，空間再構成の試行錯誤が容易となり，作業者の真意により合致した空間構造を見出すことが可能となるだろう．第二の利点は，空間構造情報の再利用性である．従来システムでは，作成された空間構造を作り出す数学的情報を得ることが難しく，その構造を再利用できない．しかし，本エージェントは数学的に空間構造を決定するため，この空間構造情報（すなわち視点）を後で容易に再利用することができる．

情報検索エージェント　本エージェントは，主として発散的思考タスクの支援を担当する．本エージェントは，作業者の指示によって起動する．情報検索のためのキーワードの抽出手段は，ある時点における直前数発話（発話数は作業者が任意に指定）から抽出されたキーワードを使用する時間的手段と，個人思考空間上の 1 点を指示することにより，その点に近い位置にあるものから順に一定数のキーワードを集める空間的手段とを実装している．また，獲得したキーワードを用いての検索手段としては，それらのキーワードをそのまま使用する直接検索手段と，あらかじめ準備しておいた，ある特定ドメイン知識の情報をもとに構築された連想辞書を用いてキーワードを連想変換して検索を行う連想検索手段（第 2章の門外漢アルゴリズムに相当）とを実装している．作業者は，必要に応じてこれらのキーワード抽出手段と検索手段とを組み合わせて情報検索を行う．

作業者は，検索で得られた情報が有益と思うならば，個人思考構造化支援エージェントに指示して，現在参照している知識にこの情報を投入し，知識を更新することができる．

5.3.4.2　意思疎通支援ブロック

本ブロックは，意思疎通モードの各タスクを支援するエージェント群で構成される．AIDE では，現在以下に示すエージェント群を実装している．

視点重畳エージェント　本エージェントは，視点と視点の重畳タスクを支援する．本エージェントが用いる視点情報は，連想辞書の形式で記述される．本研究で使用している連想辞書は，特定の知識ドメインにおけるキーワード相互の共起（連想）関係を記述したものであり，第2章で示したように，そのもととなったドメイン知識から得られる視点情報となっている．本エージェントは，作業者が指示する複数の連想辞書を共有メモリから取りだし，それらを合成した合成連想辞書を共有メモリに返戻する．

2.3.2項で示したように，本研究における連想辞書はアソシアトロンの連想記憶行列の形式で記述されている．したがって，複数の連想辞書を合成するには，基本的にそれらの連想記憶行列の積行列を求めれば良い．連想辞書の合成によって，個々の連想辞書を独立に使用したのでは得られないような関連性が得られることを，非常に単純な例を用いて示す．

互いに相異なるドメイン知識 K_a と K_b における，3 個のキーワード w_1, w_2, w_3 の共起関係に基づき，連想辞書 $\mathbf{M}_a$ と $\mathbf{M}_b$ が次式のように構築されている場合を考える．

$$\mathbf{M}_a = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad , \quad \mathbf{M}_b = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

すなわちこの例では，K_a においては w_1, w_3 間にのみ共起関係があり，また K_b においては w_1, w_2 間にのみ共起関係があり，いずれにおいても w_2, w_3 間には共起関係がない．したがって，これらの行列を個々に独立して用いる限り，w_2 と w_3 の関連性は得られないが，$\mathbf{M}_a$ と $\mathbf{M}_b$ の積行列を求めると，

$$\mathbf{M}_a\mathbf{M}_b = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & \underline{1} & 1 \end{pmatrix}$$

となり，w_2, w_3 間の関連性が現れる（下線付きの要素）．これは w_1 を仲立ちとして得られる関連性であり，両分野の知識を融合してはじめて得られるものである．このように，複数の視点の重畳によって，単なる視点の重ね合わせに留まらず，新たな視点が創出される [73, 76]．

こうして作成された合成連想辞書は，情報検索エージェントおよび後述する新規話題提供エージェントが連想検索に使用し，融合された視点に基づく関連情報の抽出を行う．

視点と知識重畳エージェント　本エージェントは，視点と知識の重畳タスクを支援する．現在の実装における本エージェントは，あるできあがっている知識上において，ある利用者が興味をもついくつかの情報断片（発言オブジェクト）を指定することに

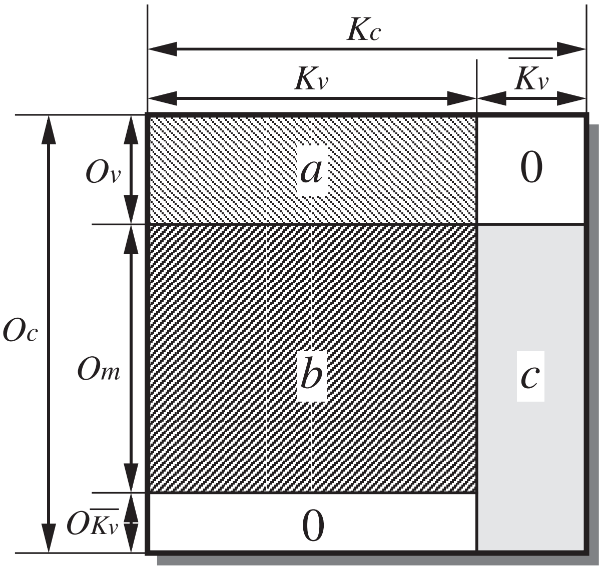

図 5.5: 視点と知識の重畳における発言オブジェクトとキーワードの共起・共有関係

よりその興味に基づく視点情報を求め，これによってもとの知識を再構成する．このような機能を利用する状況の例としては，ある程度作業が進行した状況にあるグループ思考作業に新規に参加した作業者が，その時点で形成されているグループの知識を自分の興味ないし視点に基づいて把握しなおしてみようとする場合などが考えられる．

現在の実装における視点と知識の重畳の手法を，作業者 A の知識（個人思考空間）に作業者 B の視点を重畳する場合について説明する．図 5.5において，O_c は作業者 A の個人思考空間（すなわち作業者 A の知識）上に存在する発言オブジェクトの集合であり，K_c は O_c の発言オブジェクトに含まれるキーワードの集合であるとする．この作業者 A の個人思考空間を作業者 B に提示する．作業者 B は提示された空間上で興味を引かれる発言を選択する．このとき，作業者 B によって選択された発言オブジェクトの集合を O_v，O_v に含まれる発言オブジェクトが含むキーワードの集合を K_v，それ以外のキーワードの集合を $\overline{K_v}$，K_v に含まれるキーワードを少なくとも 1 個以上含むが O_v には含まれない発言オブジェクトの集合を O_m，K_v に含まれるキーワードを一切もたない発言オブジェクトの集合を $O_{\overline{K_v}}$ とする．図 5.5中 0 で示される領域は，その領域に対応する発言オブジェクトは，その領域に対応するキーワードを一切含まないことを示す．

本エージェントはまず，作業者 B によって明示的に選択された情報（図 5.5中 a で示される領域の情報），すなわち O_v に含まれる発言オブジェクトと K_v に含まれるキーワードのみを用いて双対尺度法に基づき空間の基底を求める．したがってこの空間の基底は作業者 B の視点にあたると見なせる．ついでこの空間上に，作業者 A の個人思考空間上にある発言のうち配置可能な全ての発言，すなわち $O_v \cup O_m$ に含まれ

る発言オブジェクトならびに K_v に含まれるキーワードを配置する．以上の処理の結果，作業者 B の視点で作業者 A の知識を再構成した空間が得られる．この空間を作業者 B の興味空間と呼ぶ．作業者 B の興味空間は，作業者の指示によって共有メモリに返戻される．

本エージェントは，さらに図 5.5中 a と b で示される領域の情報，すなわち $O_v \cup O_m$ に含まれる発言オブジェクトと K_v に含まれるキーワードを用いて空間の基底を構成し，この上に $O_v \cup O_m$ に含まれる発言オブジェクトならびに K_v に含まれるキーワードを配置した空間をも構築する．この空間を視点知識重畳空間と呼ぶ．視点知識重畳空間は，作業者の指示によって共有メモリに返戻される．

本エージェントが使用あるいは構築する三つの空間について，ここで簡単に説明を加えておく．作業者 A の個人思考空間は，個人思考構造化支援エージェントの箇所で説明したように，作業者 A 個人の知識を反映したものである．作業者 B の興味空間は，その基底の計算に作業者 B が選択した発言オブジェクトのみを使用している．もちろん，それらのオブジェクトに含まれるキーワードは作業者 A の知識に由来するものであるから，この空間の基底は全面的に作業者 B の視点を反映したものとは言えないが，作業者 B の視点による影響を強く受けた空間となっていることは間違いないであろう．したがって，作業者 A がよほど突飛なキーワード付与を行っていない限り，この空間は作業者 B にとって比較的しっくりとした構造をもつであろう．視点知識重畳空間では，作業者 B が選んだ発言オブジェクトが含むキーワードによって間接的に選ばれた（すなわち作業者 B の視点に基づき作業者 A の知識を媒介として選ばれた），O_m に含まれる発言オブジェクトが空間の基底構築に影響する．この意味で，この空間は作業者 A の知識に作業者 B の視点を重畳したものとなっていると考えられる．したがって，この空間を検討することで，作業者 B は自分の視点で作業者 A の知識を再構築した場合どう見えるかを模擬することができる．

さらに，これら三つの空間を用いて相互に比較することにより，意思疎通の支援に留まらず，見落としていたような情報に気づかせる，発散的思考触発の効果を得ることも可能である．

まず作業者 B の立場に立てば，O_m に含まれる発言オブジェクトは，作業者 B が自分の興味対象として意識していないものであるにもかかわらず，それが「自分の興味の範囲にあるものである」とされて空間構築に影響している．したがって，作業者 B の興味空間と視点知識重畳空間とを見比べることによって，作業者 B は自分の見落としていた知識や視点を発見することができるだろう．

一方，作業者 A にとっても視点知識重畳空間は意味をもつ．一見それは単なる作業者 A の部分知識にすぎないと思われるかも知れない．しかしながら，作業者 B の視点からの制約により，$\overline{K_v}$ に含まれるキーワードの影響，すなわち図 5.5中 c で示される領域の情報の影響が除去される．このことは，単なる共起共有関係の削除に留まらず，この領域 c の影響によって作業者 A の個人化空間上では埋もれていたような領域

$a + b$ に含まれる関連性を浮き出させる効果をもつ．これは自分の知識のなかにあるにもかかわらず見落とされていた関連性を発見させる効果をもつであろう．

ただし一般に各空間は相互に大きく異なる構造をもつので，それらを並べて詳細な差異を見いだすのは難しいことが危惧される．そこで，たとえば各空間における各オブジェクト間の距離関係を定量的に比較し，距離関係の変化でオブジェクトペアを分類し提示することが効果的であると考えられる．たとえば，作業者 A の個人化空間上においても作業者 B の興味空間上においても相互に遠くに配置されていたが，視点知識重畳空間上では相互に近くに配置されるようなオブジェクトペアは，作業者 A と B の双方に新たな関連性を提示する可能性があるものであると言える [44, 45]．

知識重畳エージェント　本エージェントは，知識と知識の重畳タスクを支援する．現在の実装における知識と知識の重畳の手法を以下に示す．

まず本エージェントは，作業者が指定した複数の知識を共有メモリから取り出す．ついで，各知識について，その知識上に存在するすべてのキーワードを属性としてもつオブジェクトを生成する．このオブジェクトを，各知識の焦点オブジェクトと呼ぶ．焦点オブジェクトのもつ各キーワードの重みは，その知識内に存在する発言オブジェクトにおいて与えられている重みの平均とする．焦点オブジェクトは，以下の処理ではその他の発言オブジェクトと同等に取り扱われる．ついで，本エージェントはすべての知識上に存在する発言オブジェクト（焦点オブジェクトを含む）およびキーワードの和集合に対して双対尺度法を適用し，話題空間の形成の場合と同様に 2 次元空間を構築する．この空間を知識重畳空間と呼ぶ．こうして構成される新たな構造を分析することによって，重畳された知識間の共通点，相違点を明らかにすることができる [106]．知識重畳空間は，もととなった知識の融合によって得られた一つの新たな知識である．この空間は，作業者の指示によって共有メモリに返戻される．

5.3.4.3　協同思考支援ブロック

本ブロックは，協同思考モードの各タスクを支援するエージェント群で構成される． AIDE では，現在以下に示すエージェント群を実装している．

新規話題提供エージェント　本エージェントは，第 3章で示した Conversationalist に相当し，発散的思考タスクを支援する．グループによる発散的思考を支援する必要上，本エージェントは，作業者の指示によって起動するのではなく，対話の進行状況に応じて自律的に動作する機能をもつ．本エージェントは，対話を常に幅広い話題に展開させることを，自身の目的としてもつ．その目的の達成には，対話が膠着状態に陥った時に，それまでの対話内容と関連するが，同時にやや異なる関連性をも併せもつ情報を提供することが効果的であるという信念をもつ．

現状の実装においては，本エージェントは，対話の時間構造化エージェントから話題の膠着（一定期間以上の話題の無転換）が通知された場合に起動する．情報検索の手法としては，3.2.2項で示した 4 種の情報検索手法のうち，非対面同期的対話状況において発散的思考の触発に有効性があった話題連想検索と空白直接検索の二つを実装している．そしてエージェントが起動された際，話題空間上に空白中心が検出される場合は常に空白直接検索を行い，空白中心が検出されない場合には話題連想検索を行う．

こうして抽出された情報は，本エージェントの発言として，作業者の発言と同等に基礎通信ブロックに投入され，発言一覧ウィンドウに提示されると同時に，基礎情報抽出ブロックの各エージェントによる処理を受ける．このように本エージェントは，あたかも 1 人の作業者であるかのごとく振舞う．

グループ思考構造化支援エージェント　本エージェントは，収束的思考タスクを支援する．ただし，現段階ではグループ思考の構造化を専門に支援するエージェントは実装できておらず，話題空間をグループ全員で分析・検討し，その空間上に現れる軸や発話クラスタ，空白領域などの意味について全員でディスカッションするに留まっている．

本エージェントに必要な機能は，基本的に個人思考構造化支援エージェントがもつ機能と同等である．ただし，グループ全員によって一つの思考空間構造を操作しなければならないので，操作の排他制御などを含めた社会的プロトコルを考慮する必要がある [94]．また，既に宗森ら [65] が，収束的思考支援用の KJ 法ベースのツールに関する分散環境の影響について詳細な検討を進めているので，その知見を応用することも本エージェントの実現に有効であろう．

5.3.5　エージェントの相互作用と問題解決

以上のように，AIDE の各エージェントは相互に情報を交換しあい，協調的に動作を行なっている．特に，グループ思考支援ブロック群に属するエージェントは，共有メモリを介して疎に結合されており，相互に「意思」を交換して，これにそれぞれのタスクに応じた処理を加えることにより，非同期的に「意思」を更新していく．この結果，共有メモリ上には特定作業者の個人的意思や，グループ全体あるいはサブグループの意思など，さまざまな粒度の思考主体による意思が存在する．また，同じ思考主体の意思についても，異なる処理を施されたものや，異なる処理段階における意思などが存在する．

グループ思考の進展は，微視的には，意思の精錬化が後戻りしたり，ある状態でループしたりすることもあるだろう．しかし巨視的には，これらの非同期的協調作業によって，グループ全体の意思が，原始的で未分化な状態から漸進的に共有メモリ上で精錬化され続け，結果としてある何らかの最終状態に到達する．創造的思考という

問題の性質上，この最終状態それ自体がなんらかの具体的な解を与えるものになるとは限らない．しかしこの最終状態は，グループが協同思考によって練り上げた知識と視点を表現する情報であるから，この情報が問題の解を示唆する情報として非常に強力かつ有効なものとなることは疑いないであろう．このようにして，エージェントと作業者による協調作業によって，AIDE における創造的グループ思考作業は進められていく．

AIDE には，作業者およびエージェントの相互作用をトップダウンに制御する仕組み（制御エージェント）は存在しない．共有メモリに存在する視点および知識は，原則としてすべての作業者およびエージェントによって随時参照されうる．また，精錬化され更新された視点ないし知識は，随時共有メモリに返戻されうる．ただしこの際，既存の視点ないし知識が上書きされることはなく，新たな視点ないし知識として返戻される[2]．したがって，AIDE においては，ある作業者の作業が別の作業者の作業を物理的に妨害することは発生しない．このため，AIDE は処理やデータの排他制御などを行う制御エージェントを具備していない．

しかしながら，創造的問題解決という作業の内容的な面では，当然多くの競合が発生するであろう．ある作業者と，別の作業者が，同じ視点ないし知識をもとにして，全く異なる（場合によっては相互に矛盾した）精錬化を行う可能性は十分にありうる．しかし，このような意味的な競合を機械的に制御し解消することは，現段階の技術では無理であるし，そもそもこのような意味的な競合を，弁証法的な手段で解決したり，さらには無関係に見える情報間に新たな関連を見いだして結び付けていく思考過程は，創造的思考そのものである．すなわち，創造的思考作業においては，このような意味的競合は発生して当然であるのみならず発生すべきである．AIDE においては，各エージェントが意味的な競合を積極的に具体化・顕在化することにより，その競合の解消という創造的思考活動を活性化していると見ることができる．

5.4 グループ思考支援とマルチエージェントアーキテクチャ

グループ思考支援システムは，従来から多くの研究開発がなされており，それぞれに成果を挙げてきている．それらのシステムは様々なアーキテクチャに基づいて開発されており，グループ思考支援システムの構築において，どのアーキテクチャが特に有効かを断定することは難しい．しかし，5.3節で示した開発事例から，マルチエージェントアーキテクチャは，グループ思考支援システムの構築に適した性質をもつと考えられる．本節では，この点について議論する．なお，グループ思考環境をマルチ

[2]なお，対話の空間構造化エージェントのみは，新たな発言が投入される都度，話題空間を上書き更新する．しかし，作業者は必要な時点の話題空間を，個人思考構造化エージェントによって随時複製可能であるし，さらに複製した話題空間上から最近の数発話を削除することによって，容易に対話を遡った話題空間を得ることもできるので，この上書きは事実上問題ない．

エージェントシステムとしてモデル化する試みは，既に一部で開始されている．たとえば柳澤ら [120] は，グループウェアの枠組を，エキスパートシステムで構成されるエージェント群と人間とによるマルチエージェントシステムとしてモデル化し，これに基づくエージェント間の合意形成メカニズムの方式を提案している．ただし，この研究では，エージェント間の合意形成にのみ注目しており，グループ思考全体を扱ったものではない．

一般にエージェント技術は，以下のような性質をもつ応用分野に適していると言われている [51]．

1. システムが扱おうとする対象や環境が動的に変化する場合．
2. 資源が分散していて，これらを共有できる仕組みが必要な場合．
3. ユーザの代理としての能力が要求される場合．

本研究が取り扱っている応用分野であるグループ思考（支援）は，これらの性質を備えている．すなわち，

1. 「思考」という対象は，常に進展し変化する．（第一の性質）
2. 知識や視点，アイデアという資源がグループの作業員に分散しており，これを共有する仕組みが必要となる．（第二の性質）
3. グループ思考作業においては，以下のような理由で，ユーザを代理できる存在が求められる．（第三の性質）
   (a) 自分と違った考え方をする相手との対話が固定観念の打開に有効であるため．
   (b) エージェントが特定の作業者などを代理してくれることにより，グループ思考作業を時間的・空間的束縛から解放できるため．

したがって，グループ思考（支援）という応用には，エージェント技術は適していると言える．

AIDE においては，エージェント技術の適用によって，上記の三つの性質に以下のように対応した[3]．

- 基礎情報抽出ブロックのエージェント群が自律的に議論を空間的・時間的に構造化することにより，動的に変化する「思考」という対象に対応する．

[3] なお，エージェントの定義は，1) 環境を知覚する受容器と，知覚した情報に対して何らかの処理を行なう処理系と，その処理結果に基づき環境に対し作用する作用器を備えるシステムのこと [95] とする非常にゆるやかなものから，2) これに加えてなんらかの自律性を備えるシステムのこと [40]，3)mental state をもつソフトウェアのこと [99] とするものもあり，非常に幅広い．本研究では 1) から 2) の立場を取っている．

- 共有メモリを介して，各作業者の知識や視点，アイデアを効率的に共有する．
- グループ思考支援ブロック群の各エージェントが，統計処理という客観的手段で知識の構造化を行い，一種の「違った考え方をする相手」として振る舞う．
- グループ思考支援ブロック群の各エージェントが，ある特定の作業者ないしグループの視点や知識をエージェント自身の視点や知識として用いることにより，そのエージェントはその視点や知識のもととなった作業者ないしグループの代理人となる．

次に，グループ思考（支援）に対し，「マルチ」エージェントアーキテクチャを用いる点について考察する．

マルチエージェントシステムとは，複数のエージェントが協調や交渉などの相互作用をすることによって，より複雑な新しい機能を実現するものである [40]．本研究で取り扱った創造的グループ思考という応用は，ゴールへの到達手順もゴール自体も不明で，しかも非常に複雑で高度な作業である．したがって，これを直接支援するシステムを構築することは困難である．しかし，5.2節で示したように，グループ思考作業は，比較的単純な複数のタスクに分解可能であり，それらのタスクを協調的に実施することにより，創造的グループ思考作業の全体を実現できる．したがって，マルチエージェントアーキテクチャは，グループ思考を取り扱うシステムを構築するアーキテクチャとして適していると考えられる．

そこで本研究では，グループ思考の各タスクを専門に支援処理するエージェント群を準備することで AIDE を構築した．AIDE では，複数の異なる知識源としてのエージェントと作業者が，共有メモリ上にある各種の「意思」を，非同期的かつ協調的に，できるところから少しずつ精錬化し，その結果得られた中間結果を互いに共有しあいさらに精錬化することにより，最終的にグループによる問題解決の強力な手掛りとなりうる情報を構築するという，複雑な作業を達成している．これは，一種の機会主義的な問題解決手法 [41] の実現と見ることもできよう．この意味で，AIDE の共有メモリは，単一階層で構成される黒板と考えることもできるだろう．

マルチエージェントシステムとして AIDE を構築したことにより，以下の利点が得られた．

一つは，AIDE が非常に拡張性にすぐれたシステムとなったことである．AIDE は開発を開始してから 1 年程度の期間で，5.3節で示した 9 種類のエージェントの実装を完了しており，さらに 4 種類のエージェントの追加と機能拡張が続けられている．グループ思考では，ある一つのタスクについても，その支援手段は多様な方法が考えられる．しかもそれらの手段はそれぞれに固有の特徴をもつので，作業状況に応じて適切な手段を使用できることが求められる．この結果，次々と機能の追加拡張が発生することが想定されるため，このような良好な拡張性は不可欠である．

もう一つの利点は，システムが疎に結合されたエージェントの集合として構成され，さらにエージェント間で交換される情報の構造が統一されたことにより，作業モード遷移のための心理的・作業的負荷が軽減されたことである．この結果，作業者はシームレスに任意の作業モードに遷移できるようになった．

一方，マルチエージェントアーキテクチャを採用したことによる問題点は，二つ目の利点の裏返しであり，システムが一見バラバラなツールの単なる集合に見え，しかも応用の性質上，作業全体の流れを制御するメカニズムをもたないために，はじめてシステムを使用する人には，全体の動作が把握しづらく，どのようにシステムを使えば良いのかがわかりにくい可能性がある点である．この問題に対処するためには，新規話題提供エージェントのように，グループ思考支援ブロック群の各エージェントが，局所的作業状況に基づき自分の起動タイミングを自律的にはかり，その他のエージェントと交渉して，作業者に自己の利用を申し出るような機構をもつことが考えられる．ただし，過剰な申し出が逆に作業を妨害する可能性も考慮しなければならない．

5.5 おわりに

グループによる創造的活動を支援するグループウェアシステムの実現を目標とし，まず思考の主体の遷移に着目したグループ思考モデルを提案し，このモデルに基づきグループ思考を基本タスク群に分割した．ついで，本モデルに基づき，マルチエージェントアーキテクチャを応用して開発したグループ思考支援環境 AIDE について述べた．AIDE は，グループ思考の各タスクを支援するエージェント群で構成されており，各エージェントは主に共有メモリを介して，作業者やグループの「意思」を交換し，作業者とエージェントが協調してこの意思を精錬化させていく．AIDE の開発ならびに試用経験から，マルチエージェントアーキテクチャは，グループ思考支援システム構築アーキテクチャとして親和性がよいことがわかった．また，マルチエージェントアーキテクチャを採用したことによって，AIDE は，すぐれた拡張性，シームレスな操作性などの特長を獲得できた．

本章では，グループ思考支援作業を応用の対象としてきたが，これ以外にもマルチエージェントアーキテクチャが有効な応用分野は数多く存在するだろう．本章で示した AIDE の開発経験から，そのような新たな応用分野にマルチエージェントアーキテクチャを採用するにあたって重要なことは，各エージェント間で交換される情報の内容とその形式を適切に見究め決定することであると考える．AIDE においては，グループ思考支援の目的でエージェントが交換する必要がある情報は，思考作業における「視点」と「知識」であると考え，これらを話題空間や連想行列といった，正規化された再利用可能な形式で表現した．これにより，AIDE はマルチエージェントアーキテクチャがもつ各種のすぐれた特性を享受できたと思われる．

第 6 章

音楽における対話行為の支援

6.1 はじめに

第 2章から第 5章まででは自然言語による対話を処理対象としてきたが，本章と次章では音楽による対話型の協調作業を取り扱う．

完全に 1 人の演奏者のみによって音楽演奏を行う場合[1]を除けば，音楽の演奏という行為は，複数の演奏者同士による対話型の協調作業であると見ることができる．たとえば，古代から民衆による共同体的生活のなかでの各種の儀礼において歌われた合唱曲のなかには，リーダーとその他全員とのかけあいによる呼応形式（Call & Response）が多く見られたであろうことが指摘されている [10]．近代から現代においても，オーケストラなどにおける指揮者と楽団員との間には，身振りや表情，音による対話が存在する．また，専門の指揮者が存在しないアンサンブル演奏などでは，演奏者同士が基本的に演奏音を媒介として対話し，演奏表現の統一を図る．さらに，最も典型的かつ濃厚に対話的性質をもつ音楽演奏形態の一つとして，ジャズなどに多く見られる即興演奏があげられる．

クラシックなどの演奏では，主旋律，裏旋律，伴奏など，すべての演奏すべき旋律[2]は事前に作曲者によって指定されているのが一般的である．したがって，演奏中に変化させうる要素は，音の強弱やリズムの多少のゆらぎ，およびテンポなどの，いわゆる表情づけに留まる．しかしながら，即興演奏では旋律自体（主旋律のみならず伴奏パートの演奏する旋律も含む）も演奏中に決定される．この際創作される旋律は，個々の演奏者が互いに独立に生成するのではなく，通常各種の情報伝達手段，特に演奏音そのものを介しての相互作用を通じて形成される（通常これを「インタープレイ」と呼ぶ）．すなわち，即興演奏においてもやはり Call & Response が重要な概念

[1] この場合も，実際には演奏者と聴衆との間になんらかの対話と，それに基づく協調作業が存在する場合が多く見られるが，これについては本研究では取り扱わない．

[2] 旋律とは，音高の連なりがリズムによって形象化された音楽形態の一つのことである [2]．常識的には，リードパートが演奏するものを旋律と呼び伴奏と区別するが，本論文においては，前記の定義をより広く捉え，伴奏パートが演奏する内容も旋律と呼ぶことにする．特にリードパートが演奏するものを指す場合には主旋律と呼ぶ．

として扱われる [58]．

このように，音楽は創造的な対話型協調作業という性格を強くもつ．そこで本研究では，自然言語対話以外の創造的対話型協調作業として音楽を取り上げる．以下では，特に 1940 年代中期に始まったビ・バップと呼ばれる形式のジャズを具体的事例として検討を進める．

自然言語対話において，自分の意図を伝達しようとする場合に，まず何らかの自然言語を使用できなければならないのと同様に，音楽における対話を行うためには，まず音楽の演奏を実現できねばならない．しかしながら，ある新しい外国語をマスターしようとするのと同様，音楽の演奏手段をマスターし，それによって自在に自己表現できるようになるためには，いくつかの関門を乗り越えねばならない．第一の関門は，たとえば楽譜の各種記号の読み方などに始まる，音楽理論の習得である．第二の関門は，なんらかの楽器についての操作技術の習得である．これらを克服してようやく音楽による創造的な自己表現が可能となるのだが，一般にこれらの克服は容易ではなく，その習得には非常に長い時間にわたる努力を要する．このような困難の存在が，人々に能動的な音楽との接触を諦めさせる要因となっている．

しかしながら，音楽は数多くある芸術表現形態のなかでも，特に人々に親しまれ，我々の日常生活に浸透している．上で述べたような困難の存在の結果，多くの人々は音楽に受動的に接する状態に留まっているが，潜在的には何か楽器を演奏するなど，能動的に音楽に接することができるようになりたいという願望をもつ者は多い．そこで，近年盛んになってきた音楽情報処理の研究のなかでも，数多くの音楽演奏支援の研究が進められている．しかし，現在のところ，演奏者の演奏そのものを直接に支援しようとする研究例は少ない．鍵盤に発光ダイオードを装備して演奏すべき鍵を指示するような支援を行なう楽器はいくつか存在するが，これらは初心者が演奏気分を味わうことができるようにするレベルの支援に留まっており，それらを創造的な自己表現に用いることは考慮されていない．

そこで本章では，音楽による創造的対話行為の実現のための基礎的な支援として，誰でも容易に音楽による創造的自己表現に取り組むことができるような楽器の実現手法について検討する．理想的には音楽の理論的困難と，楽器操作技術の困難を計算機に支援させればよい．ただしここで注意が必要なのは，支援ではなくそれらすべてを肩代りするシステムを作ることは，可能ではあるが良策ではないということである．そのような考え方のシステムは，究極的にはボタンを 1 度押しさえすれば完璧な演奏が流れ出るシステムに行きつく．これは現在の CD プレーヤーなどとなんら変わりがなく，人が創造性を発揮する余地がない．つまり，このような支援システムの設計にあたっては，創造性の発揮の余地をどの部分にどのように残すかを十分考慮しなければならない．これは音楽に限らず，芸術的創造活動を支援する場合に一般的にあてはまる．しかし，筆者らの知る限り，従来この点についての具体的な指針は提示されていない．

筆者らはこの点について次のように考える．すなわち，創造的活動を支援するためのシステムないしツールは，対象とする創造活動の理論的側面や道具ないし制作物の部品操作に関して人が考え操作しなければならない領域を残す必要がある．しかもそのシステムないしツールのユーザインタフェースは，少なくともある一つの側面からその領域の構造を人に明確に提示し，かつその領域内の要素を人が意図的に自由に取り出して操作できるようにするものであることが必要である．

本研究では上記の考えに基づき，創造性を発揮できる音楽演奏支援手法の一つの解として，音機能固定マッピングの考え方を提案する．これは，音楽創造のための部品である個々の「音」を，その音楽的機能を容易に把握できかつ容易に取り出し操作できる形で演奏者に提供する手法である．演奏者は，音の音楽的機能の判断と検索の過程に対する支援を受けつつ，個々の音をそれらの機能に基づき自由かつ意図的に組み合わせていくことによって，自分なりの音楽的創造性を発揮することができる．さらに本章では，この手法を用いて，特にビ・バップ形式のジャズを演奏対象として作成した試作器と，それを用いた演奏実験について述べる．以下，6.2節では，音機能固定マッピングの考え方ついて説明する．6.3節では，ジャズにおける音の機能の求め方について説明する．6.4節では，試作器の実装について説明する．6.5節では，試作器を用いての演奏実験を示し，従来例と比較しながら実験結果に基づき考察を加える．6.6節はまとめである．

6.2 音機能固定マッピング

6.2.1 音の機能

まず音の機能とは何かを一般的に定義する．音の機能とは，なんらかの音楽的環境 E_i のもとで，ある音 s_j が人に特定の情動的影響を与える作用のこととする．したがって，ある音楽的環境 E_1 のもとでは，異なる 2 個の音 s_1 と s_2 は通常異なる機能をもつ．逆に，ある音 s_1 がもつ機能は，異なる 2 個の音楽的環境 E_1 と E_2 では通常異なったものとなる．なお，s_1 と s_2，あるいは E_1 と E_2 とを異なった音ないし音楽的環境とする要因としては，音色など様々な音楽的属性が考えられる．しかし本研究では，たとえば楽器の種類などに依存しない支援手段の実現を目指している．そこで本論文では，可変な音楽的属性は音高（pitch）のみとし，その他の属性については考慮しない．したがって，この制約を加味して上記の定義を言い替えれば，音の機能とは，なんらかの音高の音（単音ないし和音）が鳴っている環境 E_i のもとで，ある音高の音 s_j が人に特定の情動的影響を与える作用のことである．

たとえば，ある一つの音高の音が定常的に鳴っているような音楽的環境において，この音と完全 1 度，短 2 度，長 2 度，...，長 7 度などの，1 オクターブ中にある 12 種類の音程のいずれかの音を鳴らすと，それらは個々に独自の印象を与える．この独

表 6.1: 音の協和に基づく機能分類例

完全協和	完全 1 度，完全 4 度，完全 5 度
不完全協和	短 3 度，長 3 度，短 6 度，長 6 度
不協和	短 2 度，長 2 度，増 4 度，短 7 度，長 7 度

自の印象が，それらの個々の音がこの音楽的環境においてもつ機能である．その印象は様々な側面から分類可能であるが，音の協和・不協和という機能に注目すれば，表6.1に示すように分類することができる [2]．つまり，完全協和に分類される音は最も安定した印象を人に与える機能をもち，逆に不協和に分類される音は最も不安定な印象を人に与える機能をもつ．

6.2.2 音の機能に基づく演奏インタフェースへの音のマッピング

従来のメロディ楽器では，演奏インタフェース上のある一つの演奏ポジションには，常にある一定の音高の音が固定的に割り当てられている．したがって，ある望む音高の音を演奏したい場合には，その音高の音が割り当てられている演奏ポジションを演奏すれば良い．つまり，従来の楽器は「音高固定マッピング」型の楽器であったといえる．

一方，6.2.1項で述べたように，個々の音には音高のほかに，音の機能という属性がある．そこで，演奏インタフェース上のある一つの演奏ポジションには，常にある一定の機能をもつ音を固定的に割り当てるマッピング手法を提案する．これを，「音機能固定マッピング」と呼ぶことにする．また，この手法を用いた楽器を「音機能固定楽器」と呼ぶ．

6.2.1項で示した，音の協和・不協和という機能に基づく，非常に単純化した音機能固定楽器の実現例を図 6.1に示す．この例では，“完全協和” と記されたポジションを演奏すると，その演奏時点での音楽的環境に応じた完全協和音のどれか一つがランダムに出力されるものとする．その他のポジションについても同様である．今，音楽的環境として C の音が定常的に鳴っているとすれば，“完全協和” ポジションを演奏することによって，C に対して完全 5 度音程にある G などが音として出力される．しかし，この後音楽的環境の定常音が A に変化したとすると，G は A から見て短 7 度音程にあるため “不協和” ポジションに移動し，完全協和ポジションには A に対して完全 5 度音程にある E などが移動してくる．

このように，音機能固定楽器では，同じ演奏ポジションを演奏し続けても，音楽的環境の変化に伴って出力される音の音高は変化する．しかし，音楽的環境が変化しても，あるポジションから出力される音の機能は変化しない．

なお，本論文では絶対音高による音名は C,D などのアルファベット表記で示すもの

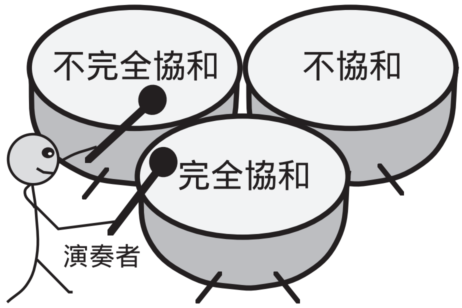

図 6.1: 音の協和・不協和に基づく音機能固定楽器の実現例

とする．ただしオクターブの差は表記しない．一方，主音に対する相対音高による音名は，I, II などのローマ数字によって表記する．ここで，主音とは調の基礎となる音である．たとえば，ホ長調の場合には E の音が主音である．ある一つの楽曲のなかでも，転調があれば主音は変化する．また，絶対音高・相対音高いずれの表記についても，C や II のように斜体で示す場合は，C や II を根音とするコード（和音）を指すものとする．ここで，根音とはあるスケール（音階）ないしコードの基本形における一番低い音のことである．

6.3 ジャズのための音機能固定マッピング楽器

音楽的環境や，ある音楽的環境のもとでのある音のもつ機能は，時代や音楽の種類によって異なり，必ずしも一定ではない．そこで本研究では，演奏対象を 1940 年代中期に始まったビ・バップと呼ばれる形式のジャズを具体的事例としてとりあげ，より実用的な音機能固定楽器を実現する方法について述べる．なお，以下ではジャズとはビ・バップ形式のジャズを指すものとする．

図 6.2にジャズ演奏で一般的に使用する楽譜の例を示す．ジャズの楽譜は通常いわゆる一段譜であり，楽曲のテーマ旋律と楽曲の各部におけるコード名とが記述されている．本研究では，このような楽曲各部におけるコードと楽曲の進行に伴うコード進行のみを，その楽曲の音楽的環境とする．したがって，以下では「コード」ないし「コード進行」という表現によって「音楽的環境」に代える．実際の演奏においては，ほかの演奏者の演奏内容やさらには聴衆の反応など，きわめて広範な要因を含めた音楽的環境を考慮しなければならないが，それらの他要因については本研究の対象外とする．

6.3.1 ジャズにおける音の機能理解の必要性

クラシックなどの音楽では通常，演奏すべき旋律があらかじめすべて決定され，それが楽譜として与えられているため，音の機能について演奏中に意識する必要が生じることはあまりない．しかし，ジャズの演奏で重要な位置を占める即興演奏では，あ

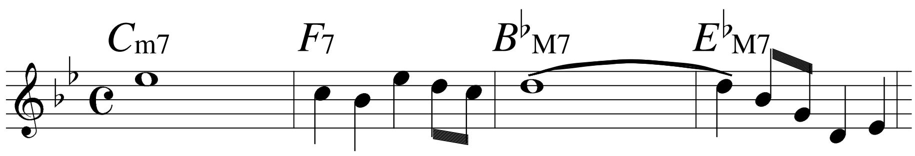

図 6.2: ジャズで使用する楽譜の例

らかじめ演奏すべき旋律が与えられておらず，演奏者はその場その場でどのような旋律を演奏するかを決定しながら演奏を進めていかねばならない．その際，旋律を構成する音にどのような音を使うかは，通常ランダムに決定されるわけではない．演奏者はその楽曲の各時点におけるコードとコード進行を常時念頭に置き，理論的知識を駆使して各時点での各音の機能を把握し，必要な機能の音を組み合わせて使用することによって，演奏者が求める効果をもつ旋律を構成していくのである．このため，ジャズでは音の機能を考慮することがとりわけ重要となる．

6.3.2 ジャズ理論に基づく音の機能の決定

本項では，ジャズ理論に基づきどのようにして楽曲の各時点における各音の機能を求めるかを説明する．処理の概略の流れは以下の通りである．まず楽曲の各部の調性（主音と，短調か長調かの区別）を決定し，各コードを主音に対する相対音高表記で記述し直す．次に，相対音高表記でのコードに対して使用可能な音階（このような音階をアヴェイラブル・ノート・スケールと呼ぶ）に関するジャズの理論知識に基づき，楽曲の各時点におけるアヴェイラブル・ノート・スケールを決定する．最後に，アヴェイラブル・ノート・スケールと，根音からの音程に基づき，各時点における各音の機能が決定される．

以下では，上記三つの処理段階のそれぞれについて，図 6.2に示す楽譜例を用いて簡略に説明する．ジャズ理論の詳細を説明することは本論文の主旨から外れるので，これについては文献 [116] などにゆずり，ここでの説明はごく基本的な場合に留める．

6.3.2.1 楽曲各部の調性の決定

まず楽曲全体を走査して，ドミナント 7th（属 7）のコードを探し出す．見つかったドミナント 7th のコードを，V_7 のコードと仮定する．これは，そのコードの根音の完全 5 度下の音が，そのドミナント 7th のコードのある箇所周辺の主音（I の音）であると仮定することに等しい．ついで，仮定した主音に対する相対音高表記で各ドミナント 7th のコード近傍のコードを書き直し，コードパターンをあてはめる．コードパターンとは，多くの曲で頻繁に現れるいくつかの典型的なコード進行の型であ

る．あてはまるコードパターンが見つかれば，そのパターンがあてはまる範囲について，仮定した主音が正しいものと見なす．また，主音を根音とするコード（I のコード）が長調であるか短調であるかによって，その範囲が長調であるか短調であるかが確定できる．以上を見つかったすべてのドミナント 7th のコードについて行なう．コードパターンに当てはまらなかった残りの箇所については，その箇所の前後のコードと比較して一般的和声進行理論をあてはめ（たとえば，属和音から下属和音への進行はあまり見られない，など），より妥当な進行になる方に組み込んでいくことにより，その部分の調性を確定していく．以上のようにして，楽曲全体について解析を行ない，楽曲各部の調性を決定し，個々のコードをその箇所の主音に対する相対音高表記で記述し直す．

図 6.2の例では，F_7 がドミナント 7th であるので，これを V_7 のコードとみなす．したがって，主音は F より完全 5 度下の B♭ であると仮定される．ここで，$C_{m7} \rightarrow F_7 \rightarrow B\flat_{M7}$ の部分にツー・ファイブ・ワンと呼ばれる $II_{m7} \rightarrow V_7 \rightarrow I_{M7}$ のコードパターンが当てはまり，I のコードが長調のコードなのでこの 3 小節の調性が変ロ長調であると確定される．残る 4 小節めについては，本来は 5 小節め以降のコード進行を考慮しなければ調性を確定できないが，3 小節目の主和音である $B\flat_{M7}$ から見れば $E\flat_{M7}$ は下属和音であり，主和音から下属和音への進行は一般的であるので，ここでは変ロ長調のままであるとみてよい．この結果 4 小節目のコードは IV_{M7} となる．

6.3.2.2　アヴェイラブル・ノート・スケールの決定

ジャズ理論では，経験的に各コード（相対音高表記）におけるアヴェイラブル・ノート・スケールが規定されている．コードとアヴェイラブル・ノート・スケールの基本的な対応関係の一部を表 6.2に示す．表 6.2には，各スケールがどのような音で構成されているかも併せて示す．スケールの構成音は根音からの音程で示す．ただし，p は完全音程，M は長音程，m は短音程，a は増音程，d は減音程を示す．たとえば，M3 は長 3 度，d5 は減 5 度である．また，カッコつきの音はアヴォイド音（6.3.2.3項参照）である．このような対応関係と 6.3.2.1項で得た結果とを照合することによって，楽曲各部でどのスケールが使用可能かが決まる．スケールの根音は，各箇所の絶対音高表記でのコードの根音となる．

図 6.2の場合，アヴェイラブル・ノート・スケールは，順に C dorian, F mixolydian, B♭ ionian, E♭ lydian と決定される．

6.3.2.3　音の機能の決定

まず，コードおよびスケールを構成する個々の構成音の名称を定義しておく．すなわち，あるコードないしスケール中のある構成音が，そのコードおよびスケールの根音から数えて何度の音にあたるか（長・短や増・減を問わない）の度数を用いて

表 6.2: コードとアヴェイラブル・ノート・スケールの対応

コード	スケール名	スケール構成音
I_{M7}	ionian	p1, M2, M3, (p4), p5, M6, M7
II_{m7}	dorian	p1, M2, m3, p4, p5, (M6), m7
III_{m7}	phrygian	p1, (m2), m3, p4, p5, m6, m7
IV_{M7}	lydian	p1, M2, M3, a4, p5, M6, M7
V_7	mixolydian	p1, M2, M3, (p4), p5, M6, m7
VI_{m7}	aeolian	p1, M2, m3, p4, p5, (m6), m7
VII_{m7}^{-5}	locrian	p1, (m2), m3, p4, d5, m6, m7

表 6.3: コードないしスケール内の音の名称と対応する根音からの音程

カテゴリー	音程
第 1 音 (根音)	完全 1 度
第 9 （2） 音	短 2 度，長 2 度
第 3 音	短 3 度，長 3 度
第 11 （4）音	完全 4 度，増 4 度
第 5 音	減 5 度，完全 5 度，増 5 度
第 13 （6） 音	短 6 度，長 6 度
第 7 音	減 7 度，短 7 度，長 7 度

その音の名称とする．たとえば，根音が D の場合， F は第 3 音である．ただし，第 2 音，第 4 音，第 6 音については，ジャズでは慣習的にオクターブ上の音程で扱うため，本論文でもこれにならってそれぞれ第 9 音，第 11 音，第 13 音と呼ぶ．表 6.3に各カテゴリーに分類されうる音程を示す．ただし，一つのカテゴリーに同時に 2 個以上の音が含まれることはないものとする．

6.3.2.2項でアヴェイラブル・ノート・スケールが得られた段階で，楽曲各部においてどの機能にどの音高の音が属するかが決定できるようになる． 1 オクターブ中の 12 の音は大まかに以下の四つの機能に分類される．

コード音 コードを構成する音．一般に，第 1 音，第 3 音，第 5 音，第 7 音．これらの音は，楽曲の各時点においてコードが作り出す色彩感を強く表現する機能をもつ．

テンション音 スケールを構成する音であるが，アヴォイド音でもコードを構成する音でもない音．これはコードの構成音から外れており，浮遊感と緊張感を生み出す機能をもつ．

アウト音 アヴェイラブル・ノート・スケールに含まれない音．テンション音よりもさらに強い浮遊感と緊張感を生み出す機能をもつ．

アヴォイド音 アヴェイラブル・ノート・スケール中でアヴォイド音に指定されている音．この音を演奏すると，その時点でのコードが別のコードに変化したかのような印象を与える機能をもつ．

さらに，上記のある同じ機能に分類される音も，その共通の機能に加えて個々の音固有の機能を併せもつ．特徴的な例としては，第 3 音はコードの調性感を決定するのに特に重要で，最もコード固有の色彩感を表現する機能をもつ．たとえば， C （構成音は C,E,G）と C_m （構成音は C,E♭,G）では第 1 音，第 5 音が共通であり，第 3 音が演奏されてはじめていずれのコードであるか（すなわち長調か短調か）が確定される．第 7 音も第 3 音とは別の意味で重要な機能をもつ．たとえば， C_{M7} （構成音は C,E,G,B）と C_7 （構成音は C,E,G,B♭）とは第 7 音以外はすべて構成音が共通である．しかし，この二つのコードは，前者が終止感を強く表現するのに対し，後者は完全 5 度下の F_{M7} に解決しようとする不安定感を表現する機能をもつ．したがって，第 7 音もコード固有の色彩感を第 3 音とは別の意味で強く表現する．このほか，テンション音やアウト音がもつ緊張感や浮遊感，色彩感も，個々の音それぞれに異なる．このように， 12 種類の音は楽曲中でコード進行に応じて常に独自の機能をもち，それらの機能は以上で示した解析と分類によって決定することができる．

図 6.2の場合，たとえば第 3 音の機能は 1 小節めでは E♭ に， 2 小節めでは A に， 3 小節めでは D に， 4 小節めでは G に，それぞれあることがわかる．

6.3.3 演奏インタフェースへの音のマッピング

なんらかの演奏インタフェース上に 12 種類の機能をそれぞれに割り当てた演奏ポジションを設定し，以上で求めた楽曲の各時点における各音の機能に基づき，楽曲が進行してもある一定のポジションには常時一定の機能をもつ音を配置するようにすれば，ジャズ理論を基礎とした音機能固定楽器が実現できる．この楽器を使えば，たとえば第 3 音，第 7 音のポジションを効果的に使うことによってコードの色を強く表現でき，テンション音ポジションやアウト音ポジションを効果的に使用することによって浮遊感と緊張感を出すことができる．

従来の音高固定楽器では，コード進行に伴って音の機能が演奏インタフェース上を浮動していたため，必要な機能の音にアクセスすることが非常に困難であった．しかし，音機能固定楽器では，必要な機能の音がどこにあるかを随時簡単に把握できるので，必要な機能の音に随時自由にアクセス可能となる．この結果，音楽理論に基づく解析や楽器操作技術にかかわる認知的な負荷が大幅に軽減され，しかも意図的に必要な機能の音を組み合わせることによる創造的自己表現が可能となる．

6.4 試作楽器の構成

6.4.1 概要

図 6.3に試作した音機能固定マッピング型楽器を使用した演奏環境の全体構成を示す．専用の演奏インタフェースの開発に先だって，今回は既存の楽器である MIDI(Musical Instrument Digital Interface) キーボードを流用して試作した．本試作器では，使用頻度が高いコード音とテンション音についてのみできるだけ音機能が固定に配置されるようにした．音機能固定マッピングのための処理は，SGI Indy ワークステーションによって行う．MIDI 音源は，Indy で処理された結果のデータを受けとり，実際の音として出力する．なお，伴奏には KORG 社の i1 キーボードが内蔵している自動伴奏機能（Backing Sequence 機能）を使用した．自動伴奏の開始，終了および演奏のテンポは，MIDI キーボードからの MIDI リアルタイムメッセージによって制御される．

6.4.2 処理ソフトの詳細

6.4.2.1 モジュール構成

音機能固定マッピング処理のためのソフトウェアモジュール構成を図 6.4に示す．試作器は楽曲データベースと，自動解析モジュール，楽曲進行に同期した演奏インタフェースへの音高の割り当て処理を行うマッピングモジュールで構成される．

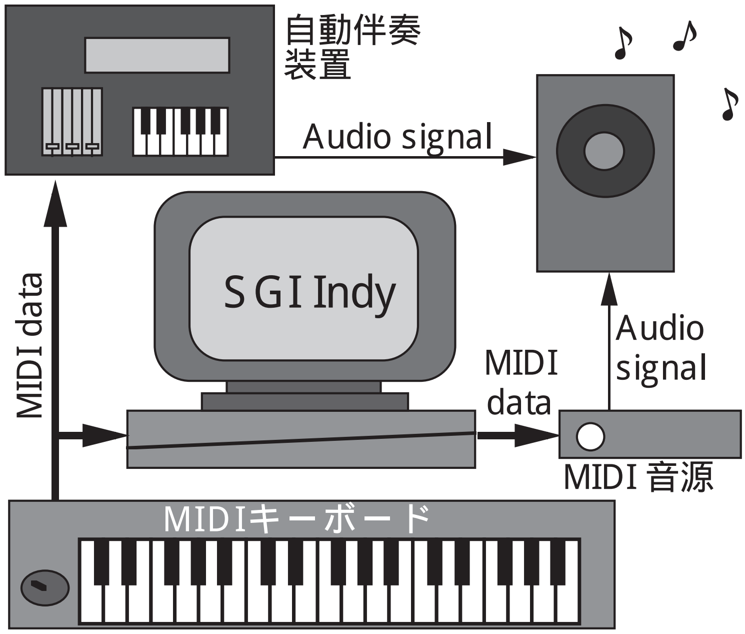

図 6.3: 試作器による演奏環境の全体構成

6.4.2.2 楽曲データベース

楽曲データベースには，楽曲データが登録されている．楽曲データは，楽曲の各時点におけるコード名とそのコードの持続時間（拍数）のリストであり，“（コード名，拍数）”の形式で羅列する．図 6.2の例の場合，楽曲データは以下のように記述される．

`(Cm7,4)(Fd7,4)(B-M7,4)(E-M7,4)`

ここに，`Fd7` は F dominant 7th のコード（つまり F_7）であることを示している．また，`B-` は B$\flat$ であることを示す．同様に`+` は $\sharp$ を示す．

6.4.2.3 自動解析モジュール

演奏に先立ち，演奏者は演奏したい楽曲の楽曲データを楽曲データベースより取りだし，自動解析モジュールに入力する．自動解析モジュールでは，この楽曲データを6.3.2項で示した方法に基づき，ジャズ理論知識ベースを参照して解析し，楽曲の各部における各音の機能を決定する．なお，ジャズ理論知識ベースには現在，ツー・ファイブ・ワンなどの数種類の基本的なコードパターンと，表 6.2に示したような相対表記コードとアヴェイラブル・ノート・スケールの基本的な対応関係が記述されている．

この解析は基本的に自動的に行なわれる．ただし，現実の楽曲には例外的なコード進行が出現することがある．この場合コードパターンのあてはめがうまくいかず，現在の比較的小規模なジャズ理論知識ベースと単純な解析プログラムでは，解析を行な

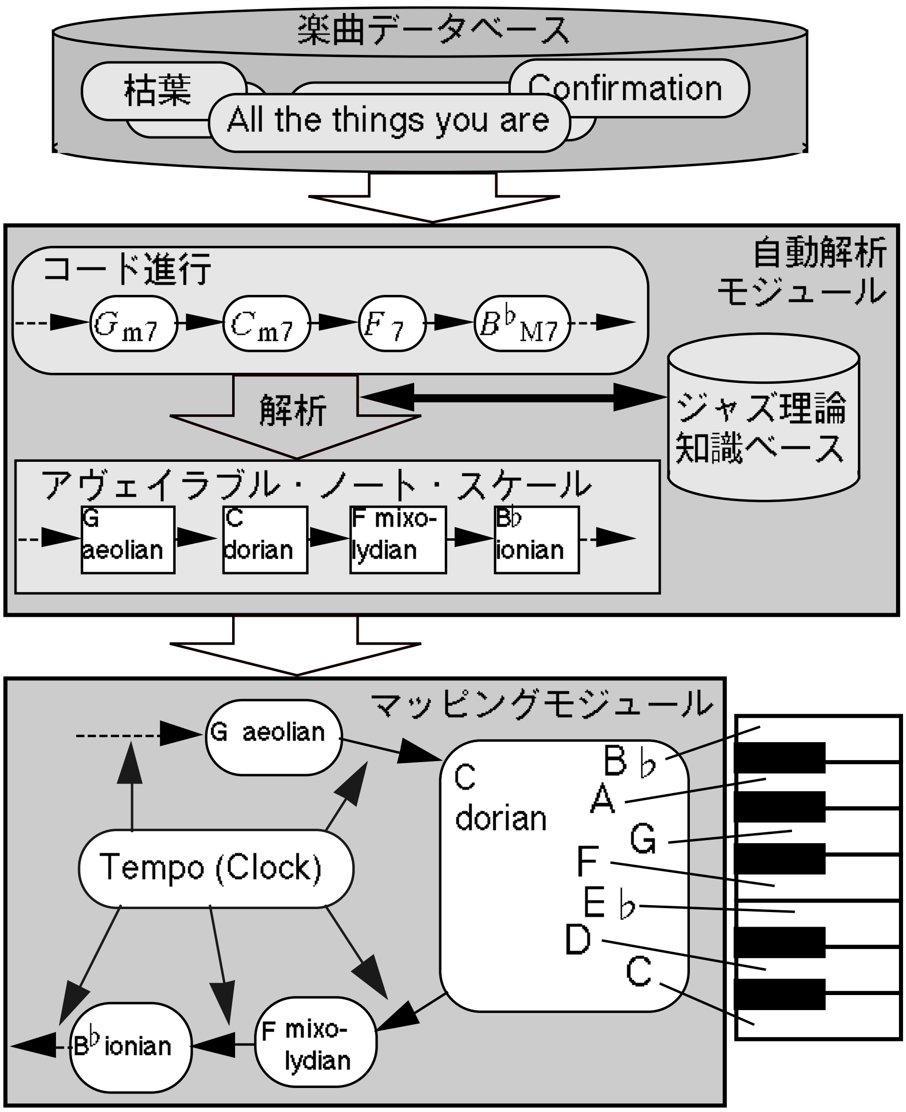

図 6.4: 試作器のソフトウェアモジュール構成

えず処理が中断することがある．今のところこのような場合には，部分的に人手による解析を行なって処理能力の不足を補っているが，今後ジャズ理論知識ベースに，比較的稀な例も含めてより多種のコードパターンを追加し，さらに代理コード知識などを充実させることによる自動化レベルの向上を図る予定である．また，ジャズでは演奏の深みを増すことを目的として，リハーモナイズと呼ばれる，楽曲の基本の単純なコード進行をより複雑なコード進行に変換することがよく行なわれる．後藤らは，演繹オブジェクト指向データベースを用いて自動的にリハーモナイズを行なうシステムを提案している [21]．そこで，このようなリハーモナイズに関する知識を応用して複雑なコード進行を逆に単純化して解析すれば，さらに解析の自動化レベルを向上させることができるであろう．

解析結果は，アヴェイラブル・ノート・スケールとその持続時間（拍数）のリスト（スケールデータ）であり，“（根音，スケール名，拍数）” の形式で羅列する．図6.2の例の場合，このスケールデータは以下のように記述される．

`(C,dorian,4)(F,mixolydian,4)(B-,ionian,4)(E-,lydian,4)`

ここに，`B-` は楽曲データの場合と同様，B♭ であることを示す．なお，必要ならば，完全に人手で解析した結果を上記形式で記述して与えることも可能である．

6.4.2.4 マッピングモジュール

MIDI キーボードには，1 オクターブあたり 7 個の白鍵と 5 個の黒鍵がある．試作器では，これらの鍵（演奏ポジション）に対し，以下のように音機能を割り当てる．

白鍵に対しては，以下のように音機能を割り当てる．

ドの鍵 コード音である第 1 音

レの鍵 通常テンション音である第 9 音

ミの鍵 コード音である第 3 音

ファの鍵 通常テンション音である第 11 音

ソの鍵 コード音である第 5 音

ラの鍵 通常テンション音である第 13 音

シの鍵 コード音である第 7 音

この結果，楽曲中のどの時点においても，白鍵をドレミファソラシと順に弾けば，基本的にその時点におけるアヴェイラブル・ノート・スケールが根音から順に出力され

ることになる[3]．なお，アヴォイド音は，スケールによってレ，ファ，ラのいずれかのポジションに出現することになるが，現在の試作器では，これを演奏者に通知する手段は備えていない．しかし，各スケールでどの音がアヴォイド音かは既知であるので，これについては鍵盤に発光ダイオードを装備するなどの手段により，容易に解決可能である．

黒鍵は原則としてアウト音の機能ポジションとする．ただし，アウト音のなかでのさらに細かい機能分類は考慮していない．実際の音の割り当ては，右隣の白鍵に割り当てられた音より短 2 度音程低い音を割り当てている．したがって，黒鍵には多くの場合アウト音が割り当てられるが，スケールの音の構成によっては，左隣の白鍵と同じ音が割り当てられる可能性がある．この場合その黒鍵は，アウト音の機能ポジションでありながらコード音やテンション音の機能をもつ音がマッピングされることになる．これは音高固定楽器を演奏インタフェースに流用していることによる限界である．もちろん 12 の音に対して 12 の演奏ポジションが存在するのだから，すべての音をこの演奏インタフェース上に割り当てることは不可能ではない．しかし，たとえば locrian のスケールの場合，第 1 音と第 9 音の音程差が短 2 度しかないため，その間には音が存在しない．したがって，この場合嬰ドの黒鍵には音程的に第 1 音と第 9 音の間にない音がマッピングされることになる．これは，鍵盤楽器のインタフェースが演奏者に与える直観的な音の配置と著しく矛盾し，演奏を困難なものとする危険性が高いと思われる．この判断により，アウト音については忠実に音機能固定型のマッピングを行なわず，ここに示す手段をとることにした．したがって，本試作器においては，黒鍵にはアウト音の機能よりは，むしろ装飾音の機能が与えられたとみなす方が適切であろう．

以上のようにして，マッピングモジュールは自動解析モジュールから受けとったスケールデータを用いて，MIDI のタイミング・クロックによって楽曲の進行に同期しながら，各演奏ポジションに対しそのポジションに割り当てられた機能をもつ音を割り当てる．演奏者があるポジションを演奏したことが MIDI 経由で伝えられると，マッピングモジュールはそのポジションにその時点で割り当てられている音高情報を MIDI 音源に対し通知する．

[3]なお，ジャズで用いられるスケールには表 6.2で示した比較的単純なもののほかに，たとえば，combination diminished や altered dominant 7th などの，変則的な音の構成をもつスケールも存在する．このような場合，スケール音を単純に白鍵に順番にマッピングすると，ある機能ポジションに，そこにあるべき機能の音が割り当てられない，マッピングの矛盾が生じることがある．これも，黒鍵への割り当ての場合と同様に，インタフェースとして音高固定楽器である鍵盤を流用していることによる限界である．

6.5 実験

6.5.1 試奏実験と結果

6.5.1.1 試奏実験 1

16 人の被験者に対し，ジャズのスタンダード曲である「枯葉」の即興演奏を行なってもらった．被験者の音楽経験や知識の保有の程度は，全くジャズの音楽理論も知らないし楽器も弾けない者 6 人，ジャズの音楽理論はあまり知らないが楽器はある程度弾ける者 9 人，ジャズを真剣に勉強している者 1 人である．ただし，キーボードでジャズを演奏できるという者はいなかった．

実験では，各被験者について音高固定でのキーボードを使用して 2 コーラス，音機能固定の試作器を用いて 2 コーラスの，合計 4 コーラスを演奏してもらった．音高固定と音機能固定のいずれを先に使用するかは被験者によってランダムに変え，被験者の半数が音高固定を先に，残り半数が音機能固定を先に演奏するようにした．実験に先立ち，それぞれの楽器の特徴について説明した．ついで，実験に使用する伴奏の上で枯葉のテーマを演奏した例を 1 コーラス分聞かせた後，実際の演奏を行なわせた．

演奏終了後，それぞれの楽器での演奏について，次の 8 項目について「非常に悪い」を 1 点，「非常に良い」を 5 点とする 5 段階で主観的に評価してもらった．

1. 楽器は扱い易かったか？
2. 自分の演奏の音楽としてのできはどうか？
3. 自分の演奏がジャズらしかったと思うか？
4. 演奏していて楽しかったか？
5. 自分の思い通りの演奏ができたと思うか？
6. 練習したらすぐにうまくなれそうだと思うか？
7. 今後も演奏してみたいと思うか？
8. この楽器を使えばほかの演奏者と一緒に演奏できそうか？

表 6.4に，音高固定楽器と音機能固定楽器のそれぞれについての評価の平均値と標準偏差，ならびに各設問項目における音高固定楽器と音機能固定楽器の評価の平均値の差の t 検定における t 値を示す．いずれの設問についても，音機能固定楽器の方が評価結果の平均値は高い．その差については，設問 1 については有意差がないが，設問 5 については 10% 水準で有意差があり，残りについてはすべて 2% 水準で有意差が認められた．

表 6.4: 試奏実験 1 における主観評価結果

設問番号	主観評価結果				t 値
	音高固定		音機能固定		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
1	2.56	0.81	2.94	1.06	1.14
2	1.75	0.93	2.50	1.03	2.67
3	1.94	1.24	3.06	1.12	3.43
4	2.50	1.21	3.81	0.83	4.39
5	1.94	1.18	2.50	1.10	1.78
6	2.50	1.32	3.81	0.91	3.16
7	3.19	1.22	4.25	0.86	3.17
8	2.25	1.39	3.75	0.77	5.48
自由度					15
両側 10% 水準の t の臨界値					1.75
両側 2% 水準の t の臨界値					2.60

6.5.1.2 試奏実験 2

6.5.1.1項は，はじめて音機能固定楽器に触れる被験者についての実験であった．これに対し，本項では筆者自身が被験者となり，実際にこの試作器をおよそ 8 カ月間にわたって連続的に使用してみた結果について述べる．この実験時点での筆者の音楽経験は，サクソフォンを中心としておよそ 22 年であり，基本的な音楽理論知識をもっている．ただし，ジャズの経験は未だ 3 年に満たず，ジャズの理論的知識の基礎的な部分は習得しているが，その知識を演奏に反映させることは，サクソフォンを使用しても未だ困難な場合が多い．また，鍵盤楽器の演奏技術は稚拙であり，理論知識を反映させる以前の段階で演奏困難となる場合が多い．

演奏を試みた曲目は，枯葉と All The Things You Are である．枯葉はコード進行が単純で，変ロ長調とト短調を交互に行き来する平易な曲である．一方の All The Things You Are はコード進行がやや複雑で，しかも非常に頻繁に転調がある難しい曲である．通常の音高固定での鍵盤楽器を使用してこれら 2 曲について即興演奏を行なった場合，筆者は All The Things You Are については途中で曲の進行に追従できなくなり，演奏が頻繁に停止してしまう．枯葉については一応弾き通すことは可能であるが，変ロ長調とト短調の変化の色を出すことができない．というのは，変ロ長調とト短調は根音が短 3 度違うだけで構成音が同じであるため，ずっといずれか一方の調だけで演奏を続けても，少なくとも外れることはないためである．そして筆者は全体をほぼト短調のみで演奏する傾向があり（つまりこの場合も楽曲の進行に正しく追

従できていない），曲調の本来の微妙な変化を表現することができない．音高固定の鍵盤楽器を使ってのこの状態は，実験開始時から現時点に至るまで，ほとんど改善されていない．

筆者は音機能固定マッピングの意味と作用，そして試作器上でのマッピングの構造について熟知している．したがって試作器を用いた場合，即興演奏の色づけを意図的に行なうことは容易であり，いずれの曲についてもコードの色を出すことも，テンション感を出すことも自在に実現できた．また，アヴェイラブル・ノート・スケールが白鍵にマッピングされているため，筆者程度の鍵盤演奏技術によっても当初から比較的良好な演奏が可能であった．実験開始当初，筆者は音の機能の組み合わせに集中し，どのような組合せでどのような印象の演奏となるかを試行錯誤していた．この結果，機能の組み合わせによる色彩感の変化が把握できてきたため，その後はリズムや音の上行・下行，繰り返しなどの音の動きを考慮した演奏をすることが可能となってきた．4 カ月めの段階での演奏を録音し，自身もジャズピアノ演奏に長けるジャズ愛好者に試聴してもらったところ，その演奏は十分にビ・バップの雰囲気をもつものであるという感想を得た．また試聴者は，音高固定の通常の鍵盤楽器による筆者のジャズの演奏レベルを知っていたが，この録音演奏を聞いた時に，それが筆者による演奏であるとはわからなかった．さらに練習を重ね，バップ・フレーズと呼ばれる典型的な旋律パターンなどを取り込んでいくことにより，より高度な自分なりの表現をもった演奏を実現することは十分可能であると筆者は感じている．

6.5.2 考察および従来例との比較

6.5.2.1 初心者支援手法としての側面

6.5.1.1項での試作器の説明にあたって，最も多かった質問は「音の機能の固定とはどういうことか？」というものであった．これは，従来のほとんどすべての楽器が音高固定型であり，それ以外の形態の楽器を想像しにくいことと，音がもつ「機能」という概念があまり一般的でないことの二つが主な原因と思われる．しかし，音の機能ということを理解できない方であっても，試作器を用いて演奏することは十分可能であった．

楽器の演奏インタフェースの操作の容易さについては，鍵盤楽器という楽器の構造に制約されるため，表 6.4の設問 1 の結果に見られるように，演奏実験 1 のような短期間の使用では音高固定と音機能固定の間に有意差が現れない．しかし，表 6.4の設問 2 ~ 8 のすべてで，音機能固定楽器の方が有意に高い評価を受けているという結果は，試作器が誰にとってもすぐに馴染める性質のものであったことを示している．特に設問 4 と 8 で高い評価が与えられ大きな有意差が出ていることは，従来の音高固定楽器では満たされにくかった能動的な音楽の楽しみを，音機能固定楽器によれば自分も享受できるのではないかという被験者達の期待感を強く表していると言える．ま

た，楽器の操作性についても，より長期にわたって使用して，基本的に白鍵だけで理論的に正しい音による演奏が可能であることを体得すれば，実験 2 に見られるように明瞭な差が現れる．

以上から，音機能固定楽器は，その理論的な側面の理解は伴わなくとも，初心者にとっても非常に慣れ親しみ易く扱い易い特性をもつものと言うことができるだろう．

6.5.2.2 創造性や個性を発揮する余地

初心者のための演奏支援を目的としたシステムは従来から各種提案されており，一部は実際に製品として販売されている．最も制約の強い支援を行なう例としては，弾きたい楽曲のデータを入力しておけば，あとはあるボタン 1 個だけをその曲の主旋律のリズム通りに叩くことによって主旋律を演奏できるものがある．また，たとえば，カシオ計算機の製品であるキーボード CTK–620L[6] などでは，楽曲データを与えると，それに基づき各鍵盤に装備された発光ダイオードが順次点灯し，点灯した鍵を順に演奏することによってその楽曲のメロディを正しく演奏できるようにしている．このようなシステムは，単純な遊び用，あるいは鍵盤操作のごく基本的なトレーニング用としては有効であると思われるが，極めて制約が強い支援形態であるため，演奏者が創造性を発揮する余地が全く残されていない．

これらよりはゆるやかな支援を行なうものとして，次のような例がある．PG Music 社の自動伴奏ソフトである Band-in-a-Box[3] の附属機能である即興演奏支援機能では，コンピュータのキーボードに常に各時点でのコード音のみをマッピングしている．カシオ計算機の製品であるキーボード CT–647[7] のアドリブミュージシャン機能では，入力された楽曲のコード進行に応じてアヴェイラブル・ノート・スケールを求め，そのスケールの音を通常のキーボードの鍵盤の上にマッピングしている．また，リンツ大学で研究が進められている WorldBeat システム [5] では，演奏楽曲をブルースに限定し，赤外線バトンを用いた仮想シロフォン上に，曲のコード進行に応じたブルース・スケールをマッピングしている．

これらの例の内，特に CT–647 と WorldBeat は我々のプロトタイプと非常に類似しているが，演奏インタフェース上への音のマッピングの方法が異なる．CT–647 では，本来の音高固定状態での鍵盤での音の配置にできるだけ近い配置になるようなマッピングを行なっている．たとえば，G mixolydian スケールの場合は，ドの鍵に B，レの鍵に D，...，ソの鍵に G，...という配置となる．WorldBeat の場合は，実体のない不可視な演奏インタフェースである仮想シロフォンに対してマッピングが行なわれるため，どこにどのような音があるかを演奏者は知ることができない．

これらのシステムを用いれば，本項の最初に挙げた二つの従来例よりははるかに自由な演奏が可能となる．どういう弾き方をするかは演奏者の自由であり，しかもどの鍵を弾いても理論的には外さないという点では我々が提案している音機能固定楽器と

同じである．

しかし，その先に一歩進んで，演奏者の意図を演奏に反映させようとすると問題が生じる．この理由は，これらの従来例のマッピングが音高固定にも音機能固定にもなっていないため，利用者にとって目に見える固定的な基準がなんら存在せず，常に全ての属性が鍵盤上を浮動していることにある．この結果，自分の演奏意図に基づき必要な音高の音を使おうとしても，その音が現在どこにあるのかが曖昧にしかわからないし，一方で必要な機能の音がどこにあるのかもわからないため，自分の意図に基づいて音を組み立てて旋律づくりをすることができない．

偶然性の芸術というような特殊な場合を除き，一般になんらかの部品を組み上げて一つの作品を作り上げる創作活動においては，個々の部品について，少なくともある一つの側面からのそれらの性質や意味を制作者がわかっていなければならない．あらゆる点で曖昧にしか性質がわからない部品のみを用いて，制作者がその意図を反映した作品を組み上げることは不可能であるし，なんとか組み上げても，それは当然統一感がなく，本来の意図が十分に反映できていない作品となるだろう．

つまり，創造性の支援を行なうこのようなシステム（あるいはさらに一般的に，創作活動に用いられるツール）では，その提供する部品のある側面からの性質や機能を利用者が容易に一覧可能で，かつ必要に応じて必要な部品に随時アクセス可能とすることが肝要である．本論文で提案した音機能固定マッピングは，個々の音という音楽制作のための部品について，音高とは異なった側面からの音の性質，すなわち「音の機能」を一覧可能でかつ随時アクセス可能なように配置する手法である．本章で示した試作器では，6.4.2.4項で示した形で，どの機能の音がどこにあるかを常時容易かつ明確に把握できる．したがって，演奏者はこの手法に基づく楽器を用いることによって，楽曲の各時点における音の機能の判断に関する支援をシステムから受けつつ，同時に自分の意図に沿って求める部品を組み立てて自分の意図を反映させた演奏をすることが可能となるのである．

6.5.1.2項に示した実験において，筆者は本手法がもつこの特長を明瞭に実感し，現実にそれを利用して自分なりの演奏を組み立てることができ始めている．

6.5.2.3 問題点と対策

実験などを通して指摘された，試作器における問題点は以下の通りである．

1. スケールの切替によって，ある同一ポジションから出力される音の音高が大きく変化する場合に演奏がぎこちなくなる．

2. コードの変わり目でスケールが切り替わるため，ディレイド・リゾルブ（実際のコードの変わり目より数拍遅れて本来のスケールに移動すること）や，逆に次のスケールを数拍早く使用し始めることなどができない．

3. ビ・バップには，演奏をバップらしくする決まり文句とも言うべきパターン化されたフレーズがあり，これを演奏可能にする必要がある．

4. ジャズの演奏をマスターする喜びが大幅にスポイルされる気がする．

第一の問題点については，鍵盤楽器という演奏インタフェースが演奏者に与える先入観の影響が大きいと思われる．これについては，音高が直線的に配置されているような直観的印象を与えない専用インタフェースの開発により解決可能であろう．第二についてはペダルなどの手段で指示することにより，演奏中の実際のコード進行に対して先行あるいは遅延してスケール切替を行なえるようにすることで対処可能である．第三については，バップ・フレーズの音の動きを，音の機能の動きによって書き直したバップ・フレーズ集を作ることで対処可能である．これは音機能固定楽器の教則課程を作成し提供することにつながる．さらに，音機能固定楽器ならではの特徴的なフレーズが新たに創造される可能性もあるだろう．第四の指摘は，音高固定楽器では，あるバップ・フレーズを 12 のキーすべてで演奏できるようになるような地道な努力が必要であり，しかもその努力がジャズ習得の喜びであるとする指摘である．しかし，このことは音楽の創造的自己表現とは直接には関係がない，楽器の操作技術レベルの問題である．音機能固定楽器では，あるバップ・フレーズを習得するには 1 種類の演奏方法だけを習得すれば良く，その分より多くの種類のバップ・フレーズの習得に時間をかけることが可能となる．この結果，より多彩な演奏を実現することができるようになるので，音機能固定楽器がジャズを演奏する喜びをスポイルすることはないと考えられる．

6.6 おわりに

以上，演奏インタフェース上の各ポジションに音の機能を固定的に割り付ける，音機能固定楽器の実現方法について説明し，さらにジャズの演奏を主な対象とした音機能固定楽器の実装について述べた．試作器を用いて試奏実験を行なった結果，音機能固定楽器は初心者にも馴染み易く，能動的な音楽との接し方を可能とするものであることがわかった．さらに，この手法に基づく楽器では，従来の演奏支援手法による楽器ではほぼ不可能であった，演奏への演奏者の演奏意図の反映も可能となった．本論文では演奏対象をジャズに特定したが，楽曲の理論的解析に基づく音の機能判断アルゴリズムを入れ換えることによって，その他のジャンルの音楽に対しても本手法は適用可能である．

芸術的創造活動を支援するシステムないしツールでは，提供する部品の性質なり機能なりを制作者が容易に一覧可能でかつ必要に応じて必要な部品に随時アクセス可能とすることが肝要である．音機能固定マッピングは，音という音楽創作のための部品を，その情動的影響を与える作用，すなわち機能という側面から一覧可能とし，か

つ必要な機能をもつ部品に容易にアクセス可能とする手法である．また，音機能固定マッピングは，ある演奏ポジションに対し動作指令を与えるとそのポジション固有の機能が動作するという意味で，楽器の演奏インタフェースに感性的オブジェクト指向の概念を取り込んだ，新たなパラダイムと見ることができるだろう．

このパラダイムは，音楽以外のモードに対しても応用可能であると考えられる．たとえば，絵画において，赤という色は，その使われる絵画的環境に応じて，「情熱の赤」や「暖かみのある赤」などの異なる情動的影響を及ぼす機能をもつ．そこで，絵画的環境を解析分類し，各環境における個々の絵画部品（色など）がもつ機能を判断することができれば，絵画における機能固定マッピング型のツールないしシステムを実現できる．これを用いれば，絵画の初心者であっても，自分の意図表現に必要な機能をもつ部品を取り出し組み合わせることによって，一定水準以上の表現力をもつ絵画を創作することが可能となろう．

このように機能固定パラダイムは，複雑な理論知識や高度な操作技術を介さず，基本的に感性に基づく判断と比較的容易な操作のみによって創作者の意図表現を可能とするものと言えるだろう．換言すれば，音機能固定楽器は，自然言語対話における自動翻訳装置に相当し，人の「こんな感じ」という感性的表現を音楽表現に自動翻訳する装置であるとみなすことができる．さらに，その新たなパラダイムの下で，従来のシステムやツールでは創り出しにくかったような作品が産み出される可能性があり，そのような可能性を真剣に追求する，機能固定型システムないしツールを用いた創作のプロの出現もありうるだろう．この意味で，音機能固定楽器は，単なる初心者向けの支援機能が付加された従来楽器というレベルに留まるものではないと言うことができよう．

音機能固定楽器は様々な場面で効果的に利用できる．近年，マルチメディア技術の進歩にともない，映像と音楽とを同時に実時間的に生成するようなマルチメディアアート製作装置が各種提案されている．たとえば Brush de Samba[52] や DirectIVE[16] などが提案されており，これらでは制作者の身振りに応じて音楽と映像とが同時に生成される．マルチメディアアート生成装置では，複数のメディアを同時に操作する必要上，個々のメディアの操作のための制作者の認知負荷を下げることが不可欠であり，このためこれらのシステムはいずれも音楽演奏支援手段を組み込んでいる．しかし，これらの例における音楽演奏支援手段は，やはり従来の音楽演奏支援システム同様，目に見える固定的基準を与えていない．この結果，生成される音楽に演奏者の演奏意図が反映できず音楽の質として低いものしか生成することができない．一方，音機能固定楽器は，これらの音楽演奏支援手法と同程度に低い認知負荷しか要求せず，かつ上記の通り創造的な意図表現を実現することができるため，これを用いることにより，より高度なマルチメディアアート生成が可能となるだろう．そこで，筆者らは音機能固定楽器を組み込んだ，音と映像による実時間マルチメディアアート制作システム MusiKalScope を開発し，試用実験を行なっている [12]．このほ

か音機能固定楽器は，音の「機能」という，音楽の理論的側面の体験を容易とするので，音楽教育などにも応用が可能である．また，まずコード進行を先に作るタイプの作曲支援にも効果的であろう．

第 7 章

音楽における創造性支援に向けて

7.1 はじめに

第 6章では，音楽による対話を行うための基礎的な支援として，誰でも容易に音楽による創造的自己表現に取り組むことができるような楽器の実現手法を示した．本章では，さらに音楽による対話型協調作業における創造性を支援する手法について検討する．本章においても，第 6章と同様にビ・バップ形式のジャズにおける即興演奏を題材として取り上げる．

6.1節で述べたように，複数の演奏者による音楽演奏，特にジャズの即興演奏は，典型的な対話型の創造的協調作業である．このような音楽演奏の場での意思疎通手段としては，各演奏者が奏でる音や身振り・表情などの非言語的手段が通常使用される．しかし，これらの手段による表現は曖昧で，言語のように具体的な意図伝達ができないため，特に初心者にとってこの協調作業は困難なものとなる．

このような複数の演奏者による協調作業としての側面に注目した研究としては，コンピュータが人間の演奏に伴奏をつける自動伴奏システム [35] がある．初期の自動伴奏システムは，あくまで人間が主演奏者であり，システムはその演奏のテンポに追従することを主目的としていた [9]．しかし近年は，演奏状況によってはシステム側が主導権をもつ伴奏システム [36] や，テンポのみならず独奏者の演奏表現の変化にも追従する伴奏システム [28, 115] などが開発されている．さらに，伴奏に留まらず，システムが人間と対等な 1 演奏者としてソロ演奏を行なうものも現れている [22, 83, 98]．

これらの自動伴奏システムの研究は，人と機械の協調作業の実現を目指すものである．これはコンピュータミュージック全盛の現代においては一つの自然な流れであるが，一方で人同士の協調作業による音楽の創造がなくなることは今後もありえない．しかし，音楽における人同士の協調作業に関する研究は，まだあまり行なわれていない．認知科学的な側面からの分析的研究が開始されつつあるが [37]，工学的立場からの人同士の協調作業支援についての研究は，筆者の知る限り見当たらない．音楽と CSCW というテーマでの問題提起もなされている [1] が，これも今のところ音楽製作

表 7.1: 自然言語対話と音楽演奏の構造的対応関係

自然言語対話	音楽演奏
対話全体	楽曲全体
発話	フレーズ
キーワード	音楽プリミティブ
キーワード重み	音楽プリミティブ重み

に携わる人と演奏者との間のコミュニケーションの支援を目指しており，演奏者同士のリアルタイムな協調作業を支援するものではない．

そこで本章では，音楽演奏における演奏者同士の協調作業を支援し，さらに音楽演奏上の創造性を触発することを主要な目的とするシステム Music–AIDE について述べる．以下，7.2節では，音楽演奏と自然言語対話の類似性に着目した，Music–AIDE における協調作業支援の考え方について述べる．7.3節では，Music–AIDE の実装について概説する．7.4節では，Music–AIDE を用いて 2 人の演奏者で演奏を行なった例を紹介し，その有効性について考察する．7.5節はまとめである．

7.2 Music–AIDE の支援方針

7.2.1 自然言語対話支援の枠組の応用

Music–AIDE では，音楽と自然言語対話の類似性に着目し，第 5章で説明した AIDE の枠組を音楽演奏支援に適用する．表 7.1に，音楽と自然言語対話の構造的な対応関係を示す．AIDE では，自然言語対話を時間的に連続する発話列とみなし，各発話はその発話が含むキーワードに特徴づけられ，さらに各キーワードは発話列のなかでの出現頻度や間隔によって重みづけられている．この構造を音楽と対応づけると，対話が演奏する楽曲全体に，発話がフレーズに，キーワードがフレーズに含まれる音楽プリミティブに，キーワード重みが各音楽プリミティブの重みに，それぞれ対応するとみなせよう．このような対応づけによって，AIDE で実装した各種対話支援手法を，音楽演奏に対しても適用することが可能となる．なお，フレーズとは，「文章の句読点に相当するような段落感で区切られるひとまとまりの楽句」[2] のことである．また，音楽プリミティブとは，演奏を構成するすべての基本的な音楽要素のことである（たとえば，コード，ハーモニー，ピッチ，音量，テンションなど）[47]．本研究で取り扱う音楽プリミティブの種類については，7.3.2.1項で述べる．

7.2.2 支援対象：対話としてのジャズ

ジャズ演奏におけるインタラクションは，様々な目的のために，様々な手段によって行なわれる．たとえば，初対面の演奏者が一緒に演奏するジャムセッションなどでは，身振りによってソロの順番を指示したり，曲の構成を伝達しあったりする．しかし，ジャムセッションのような特殊な状況を除けば，インタラクションはむしろ演奏される音そのものによって行なわれるのが普通である．

Call & Response は，音によるインタラクションが特に明確に演奏上に現れる代表例である．ジャズにおける Call & Response は，ある演奏者がなんらかのきっかけとなる旋律を演奏すると，別の演奏者がこれに答える旋律を演奏するもので，非常に頻繁に出現する演奏形態である． Call & Response は，とりわけ 4 バースと一般に呼ばれる演奏形態において，特に顕著に現れる[1]． 4 バースとは，複数の演奏者が， 4 小節ごとに交替して順番に短い即興ソロ演奏を行なう演奏形態である． 4 バースでは個々の演奏量が短いがゆえに，前の演奏者の演奏内容を念頭において自分の演奏内容を構成することが多い．この結果，作品全体としての統一感が生み出される．本章においては，この 4 バース形式の即興演奏を処理対象として扱う．なお，一般にフレーズの長さは不定で一概に規定できないので，本研究では， 4 バース形式の演奏において 1 人の演奏者が 1 回に演奏する 4 小節の演奏を 1 フレーズとして扱うことにする．

7.2.3 支援手段

演奏者の演奏意図は，その演奏する音によって外に向かって発信されていると考えられるため，演奏される「音」を基本材料として支援処理を行なう．支援は，次の二つの側面から行なう．第一は，演奏意図を反映した情報を抽出し，これを音そのものとは異なる別のモードで演奏者全員に伝えることによって，演奏意図をより円滑かつ密に伝達できるようにすることである．第二は，演奏の全体構造を常に見渡すことができる情報を提示することによって，演奏の全体的な一貫性を維持する助けとすることである．

従来研究例のいくつかにおいて，システムは，演奏から抽出した各種情報を，なんらかの評価関数によって演奏意図に翻訳している [28, 36, 47]．この演奏意図情報をそのまま人間に提示することによって，上記第一の側面を支援するようなシステムを構成できる可能性がある．しかし，従来の手法では多くの場合評価手法が単純で一面的に過ぎる傾向がある．たとえば，文献 [28] では「大音量」を「演奏を盛り上げる」意図と結びつけている．多くの場合これは正しいが，逆に音量を抑えることによって緊張感を高め，聴取者に感情のたかぶりを起こさせる演奏もありうる．したがって，このような手法による演奏意図の判断結果を提示されても有効でない場合が多々あると予想される．また，これらの演奏意図評価手法は，演奏のある瞬間のスナップショッ

[1] このほか，場合によっては 2 バースや 8 バースなどもある．

トを提示するものであり，その時点までの演奏全体を見渡す情報とはなっていない．

そこで Music–AIDE では，第 3章で示した話題空間を構成する場合と同じ統計手法を用いて各種演奏情報の相互の関連性を演奏者に提示することによって間接的に演奏意図を伝達する．演奏によって出される「音」そのものは，特別な演奏意図を提示しているわけではない．そこに解釈を加えるのは，あくまで情報の受け手としての聴取者（演奏者も含む）である．Music–AIDE が提示する関連性情報も，この点で「音」と同じ機能を有する．すなわち，それ自体は特別な演奏意図を直接に提示するわけではなく，解釈は情報の受け手の判断に委ねられている．つまり，この関連性情報は，音とは別の，新たな意図伝達のためのモードを追加するものであると言えるだろう．また，第二の側面の支援のために，ある時点までの演奏における全ての演奏情報について関連性情報を提示する．これによって，演奏の全体構造を効率的に見渡すことができるようになると期待できる．さらに，統計処理という客観的な手続きが導入されているため，演奏者が見過ごしていたような関連性が提示され，この結果，音楽創作上の新たな発見が得られる可能性がある．

7.3 Music–AIDE の構成

7.3.1 システム構成の概要

図 7.1に Music–AIDE のシステム構成を示す．Music–AIDE では，演奏データは MIDI (Musical Instrument Digital Interface) でクライアントに入力される．この図では，2 人の演奏者が演奏する場合の構成を示しているが，MIDI Clock Slave であるクライアントシステム (Client 2) を追加することで 3 人以上の演奏にも対応可能となる．

以下，図 7.1の構成のシステムを用いて，2 人の演奏者が 4 バース形式の即興演奏を行なう場合の処理の流れの概略を説明する．演奏開始に先だって，各クライアントおよびサーバでは演奏する曲目を設定する．また，全演奏者数および各クライアントの演奏者が何番目に演奏するかも設定する．以下では，Client 1 の演奏者が 1 番目に，Client 2 の演奏者が 2 番目に演奏をするものとする．したがって，演奏は Client 1 → Client 2 → Client 1 → Client 2 → ··· の順で行なわれる．演奏開始信号は MIDI Clock Master となる MIDI 楽器から全クライアントに発信され，その後は MIDI Clock Master からの MIDI クロック信号に同期して全クライアントは処理を進める．MIDI sound module は演奏開始信号によって自動伴奏を開始する．現在の実装では，MIDI sound module には KORG 社製キーボード i1 を使用しており，自動伴奏は i1 が内蔵するバッキングシーケンス機能を利用している．

前奏が終了すると，第 1 番目の演奏者が演奏を開始する．第 1 番目の演奏者の演奏は，Phrase Sampler で所定期間（4 小節）だけ演奏データとしてサンプリングされ

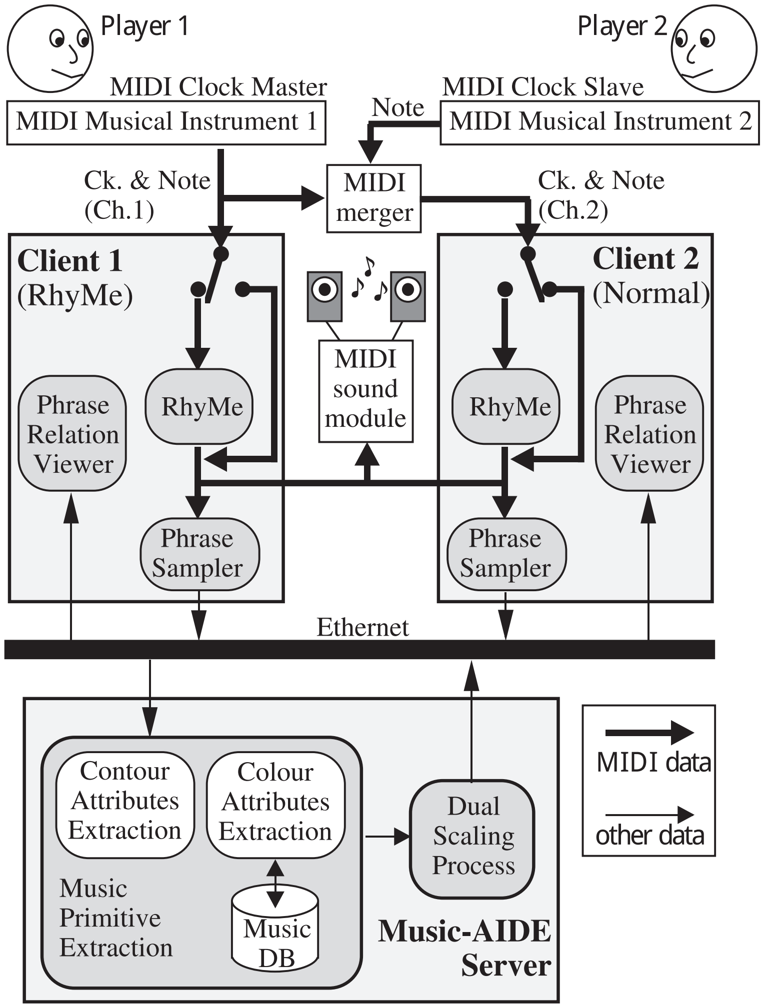

図 7.1: Music–AIDE システム構成図

る．所定期間が終了すると，Phrase Sampler は採取した演奏データを socket 通信によって Music–AIDE Server に送信する．同時に，Client 2 に演奏権が渡され，第 2 の演奏者の演奏とそのサンプリングが開始される．いずれのクライアントにおいても，Phrase Sampler に入力される演奏データは，同時に MIDI sound module にも入力され，実際の音として出力される．なお，クライアントには初心者の即興演奏を支援するために，第 6章で述べた音機能固定マッピング機能（図 7.1中で RhyMe と表示しているモジュール）が備えられており，演奏者はその使用・不使用を自由に選択できる．この機能を使用する場合は，RhyMe から出力される演奏データをサンプリングする．

サーバでは，まず Music Primitive Extraction で，各クライアントから送られてきた演奏データから，Contour Attributes（輪郭属性）と，Color Attributes（色彩属性）の 2 種の音楽プリミティブを抽出し，それらの個々に重みづけする．得られた重みつき音楽プリミティブに基づき，Dual Scaling Process が双対尺度法 [81] によっ

て，個々のフレーズおよび音楽プリミティブの関連性を 2 次元空間構造として表現する処理を行なう．処理結果は全クライアントに socket 通信によって送られる．各クライアントでは受信した空間構造情報を，Phrase Relation Viewer で表示し，演奏者に提示する．

7.3.2 各モジュールの詳細

7.3.2.1 音楽プリミティブ抽出

本研究では，音楽プリミティブを輪郭属性と色彩属性とに分類する．以下，それぞれの属性に含まれる音楽プリミティブとその重みづけ方法について簡単に説明する．

輪郭属性 輪郭属性とは，演奏されるフレーズにおける音高の時系列的動きから得られる属性である．なお，音高はすべて MIDI ノートナンバーで扱っており，実際に発音された音の周波数を処理しているのではない．本研究では，以下の 9 種類のプリミティブを定義する．

1. 音数：1 フレーズ中で演奏された音の数．個々の音の長さは不問．
2. 平均音高：1 フレーズ中の全ての音の音高の，各音の長さを考慮した加重平均値．無音部については，その直前の音が伸ばされているものとして計算する．
3. 音高分散：1 フレーズ中の全ての音の音高の，各音の長さを考慮した分散．無音部の扱いは平均音高の場合と同じ．
4. 代表繰り返し長：正規化した音高の推移の自己相関を計算した結果，最も強い自己相関係数が得られた周期．
5. 極長周期脈動強さ：音高の推移を 3 次スプライン補間し，高速フーリエ変換を施して得たパワースペクトルの，2 分音符長以上のパワーの積分．
6. 長周期脈動強さ：同じく 4 分音符以上 2 分音符未満のパワーの積分．
7. 中周期脈動強さ：同じく 8 分音符以上 4 分音符未満のパワーの積分．
8. 短周期脈動強さ：同じく 16 分音符以上 8 分音符未満のパワーの積分．
9. 極短周期脈動強さ：同じく 16 分音符未満のパワーの積分．

色彩属性 色彩属性とは 6.2.1項で述べた音機能の組み合わせから得られる属性である．本研究では，以下の 5 種類のプリミティブを定義する（6.3.2.3項参照）．個々のプリミティブの重みは，フレーズ中でのそれらの音の長さと強さ（MIDI Note on データの velocity 値）の積の総和とする．

1. 無彩色コード音：第 1 音と第 5 音．強い安定感を表現する機能をもつが，調性感に乏しい．
2. 有彩色コード音：第 3 音と第 7 音．コードの機能（調性感や終止感など）を強く表現する機能をもつ．
3. テンション音：浮遊感や緊張感を表現する機能をもつ．
4. アウト音：本来のコードから外れた，強い浮遊感を表現する機能をもつ．
5. アヴォイド音：本来のコードが別のコードに変化したような印象を与える機能をもつ．

7.3.2.2 フレーズの相互関係の可視化

フレーズの相互関係の可視化の方法は，第 3章で示した話題空間の構築方法と同じである．本システムにおいては， Music Primitive Extraction モジュールから出力される重みつき音楽プリミティブデータに基づき， Dual Scaling Process モジュールが双対尺度法による処理を行なう．各クライアントの Phrase Relation Viewer モジュールは，この処理結果を用いて全フレーズと音楽プリミティブの相互関係を描画し，演奏者に提示する．したがって，あらたなフレーズが演奏されるたびに，この空間構造は変化する．この 2 次元空間のことを，以下では演奏空間と呼ぶ．

7.4 Music–AIDE 試用実験と考察

7.4.1 実験

試作したシステムを用いて演奏実験を行なった．図 7.2に Music–AIDE を使用しての演奏の様子を示す．使用した演奏インタフェースはキーボードである．実験では，2 人の演奏者が演奏を行なった．この実験では，各演奏者はそれぞれのクライアントシステムのコンソールに表示される演奏空間を見ながら演奏を行なった．演奏者の 1 人は，ジャズ・ピアノの経験がかなり豊富である．もう 1 人は筆者であり，ジャズ理論はひと通り理解しているが演奏経験は浅く，また鍵盤楽器の演奏にはあまり習熟していない．そこで，前者は RhyMe による支援のない Normal Client を使用し，後者は RhyMe クライアントを使用した．演奏曲目は All the things you are である．この曲は， 1 コーラス 36 小節（9 フレーズ）で構成される 4 分の 4 拍子の曲である．演奏は，実験 1 回あたり 2 コーラスとし，これを全部で 8 回繰り返した．

図 7.3に，ある回の演奏における 2 コーラス（18 フレーズ）演奏終了時の Phrase Relation Viewer の画面を示す．図中，長方形のアイコンが個々のフレーズに対応する．各フレーズアイコンは演奏者毎に色が異なり，演奏者名とその演奏者による何番

図 7.2: Music–AIDE を使用しての演奏風景

目のアドリブ演奏であったかの番号が表示されている．図中，色の薄い方のアイコンが Normal Client 使用者の演奏，色の濃いアイコンが RhyMe Client 使用者の演奏である．また，各種の図柄をもつアイコンは，個々の音楽プリミティブに対応している．図において，第 1 主成分（水平軸方向）を特徴づける音楽プリミティブは，アウト音，有彩色コード音，アヴォイド音であった．また，第 2 主成分（垂直軸方向）を特徴づけるものは，代表繰り返し長さ，テンション音であった．

演奏実験終了後， Normal Client 側被験者に対しインタビューを行なった．得られた感想を，以下列挙する．

1. 演奏という音情報が空間情報として目の前で構成されていくのが面白い．

2. 自分の演奏の特徴が良くわかる．構成された空間を観察することによって「客観的視点」からのフィードバックが得られ，有益である．

3. 演奏中に実時間的にこの空間を見て意味を理解することはやや難しい．これは，主に空間の軸がどんどん変化して意味を考える余裕がないことによる．また， 2 次元平面での表現が適切かどうかも疑問である．

4. 特定の音楽プリミティブを意識して演奏しても，それ以外のすべてのプリミティブも考慮されて空間配置されるため，思惑通りの演奏になったかどうかを判断しにくい．

7.4.2 考察

被験者の感想の第二点である，演奏への有益な客観的フィードバックが得られるという指摘は， Music–AIDE が目指す重要な効果の一つであり，本研究で採用した手

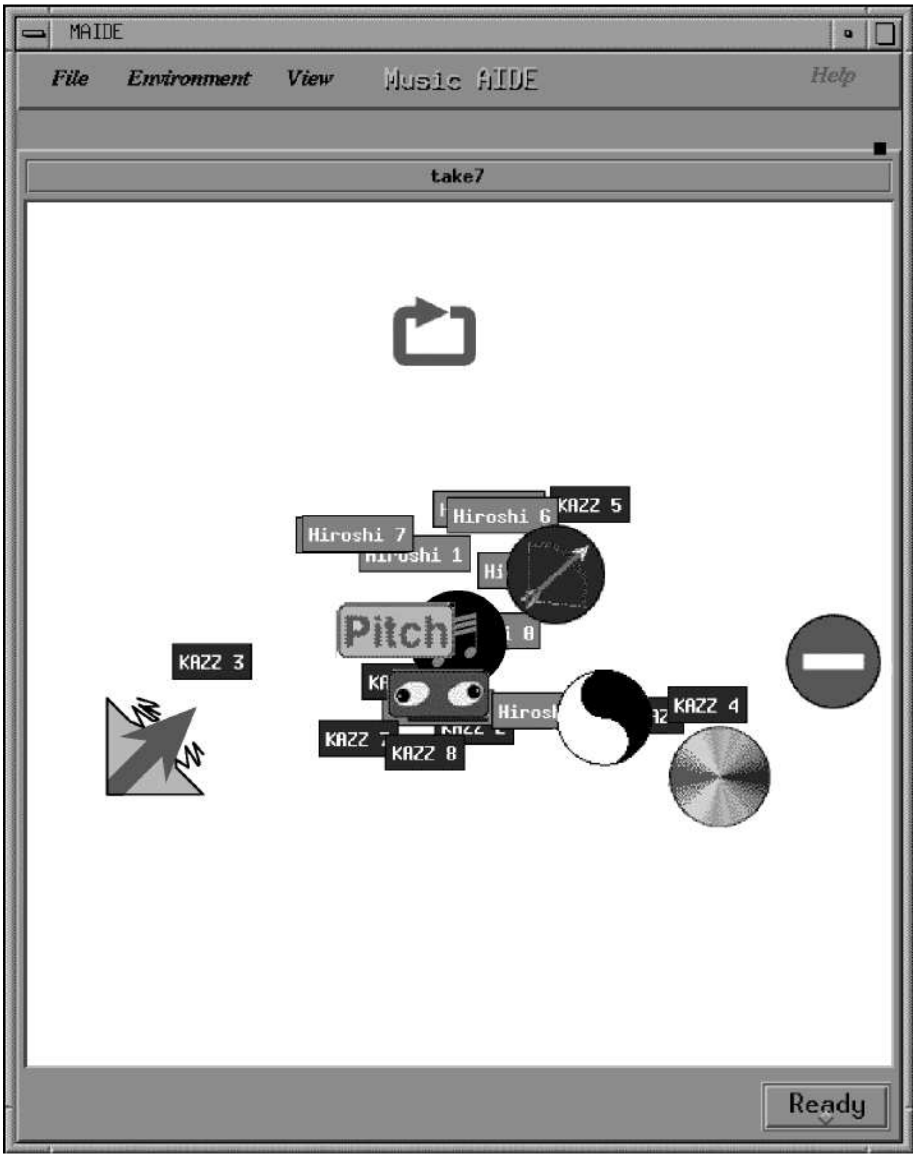

図 7.3: ある回の実験における 2 コーラス演奏終了時の演奏空間

法の考え方が基本的に正しいものであることを示していると言える．たとえば，図7.3では，Normal Client 側の被験者の演奏は主に第 2 主軸に沿って分布し，テンション音と，比較的大きな繰り返しパターンがあり，アヴォイド音やアウト音をあまり使用していないことが特徴であることが示されている．これに対し，RhyMe Client 側の被験者の演奏は主に第 1 主軸に沿って分布し，アヴォイドやアウトを含む様々な機能の音を使用しているが，明確な繰り返しパターンがあまり現れないことが示されている．このように，個々の演奏の特徴ならびに全体の演奏構造が同時に把握できるので，個々の演奏にも，また全体での協調演奏にも有益な寄与があると期待できる．

軸の意味を把握しづらく，その結果演奏中にリアルタイムに空間情報を理解しフィードバックを得ることが困難であった点については，空間の見方についてある程度の慣れが必要であると思われる．RhyMe Client 側の演奏者であった筆者は，AIDE の使用によってこの空間の見方に慣れていたため，演奏中に空間構造がどういう状況になっているかを比較的容易に把握することができた．この際，空間の意味把握に特に有効だったのは，音楽プリミティブアイコンの配置である．その結果，音楽プリミティブアイコンの配置から演奏空間の基底を粗く把握し，その上で自分が演奏した最新のフレーズがどこに配置されたか，空間上の空白領域はどのような位置にあたるかを考えることによって，次に演奏するフレーズ創造の助けとすることができた．

第四の指摘も，空間の見方の慣れの必要性と関連する．たとえば，意識して大きな繰り返しパターンがある演奏をした時，この被験者はその演奏のフレーズアイコンと，繰り返しのアイコンの位置関係だけに興味をもってしまっていた．しかし，Music–AIDE では常に 14 種類すべての音楽プリミティブを考慮して空間を構成するため，演奏者が予想していなかった思いがけない位置にその演奏のフレーズアイコンが配置されて戸惑うのである．しかし，これはまさに演奏者本人が見落としていた演奏意図をシステムが指摘していることにほかならない．そのことを空間構造から読みとれるようになれば，常に幅広い視野で自分の演奏を見直し，その結果を次の自分の演奏に反映させていくことが可能となることを，この結果は示唆していると言えるだろう．

7.5 おわりに

本章では，ジャズ演奏の対話的性格に注目し，演奏者相互の意図伝達を円滑にするとともに，演奏全体の構造の把握を容易にし，さらに演奏者の創造性を触発する，音楽における創造的対話支援システム Music–AIDE について述べた．現在の Music–AIDE は，複数の演奏者による 4 バース形式の即興演奏を対象とし，個々の 4 小節のフレーズから 14 種類の重みつき音楽プリミティブを自動抽出し，これを統計処理することにより各フレーズと音楽プリミティブの相互関係を 2 次元空間構造として演奏

中にリアルタイムに演奏者に提示する．これによって，演奏者は音そのもの以外のモードで演奏の構造を把握することができるようになる．実験の結果，Music–AIDEが提供する空間構造によって，演奏者は自分の演奏を客観的に見ることができ，それを自分の演奏に反映させることができることが示唆された．ただし，現状は直観的な認識性に難があり，演奏中にリアルタイムに空間情報を理解し演奏に反映させることはやや困難であることが指摘された．

第 8 章

結論

8.1 本論文のまとめ

本論文では，人間による対話型の協調作業における創造性，特に発散的思考と呼ばれる思考活動を効果的に支援するシステムについて論じた．本研究で得られた成果は以下の通りである．

第 1 章では，本研究の目的ならびに背景，従来研究について述べるとともに，各章で議論する内容について概観した．

第 2 章では，利用者からの入力情報に対し，関連性と同時に異質性を併せもつ情報を抽出することを目的とし，ブレインストーミングにおける門外漢の思考過程をモデル化し，これを連想検索を用いることにより計算機上に実装した．また，発想支援を意図する情報検索においては，伝統的な情報検索の評価基準である，再現率と適合率を用いることは適切ではないため，入力情報と出力情報の関連性の程度に加え，さらに意外性という評価基準を導入することによる新しい評価手法を提案した．このプロトタイプシステムを用いた被験者実験により，本モデルに基づく情報検索システムは，人間の発想を刺激する効果がある「隠れた関連性をもつ情報」を効率的に獲得できることがわかった．

第 3 章では，ブレインストーミング的な対話の場における発散的思考の支援の実現を目的とし，対話における話題と話題構造とを反映しつつ，同時に異なる視点からの関連性を取り込むことができる情報検索システムを構築した．このシステムでは，統計手法を用いて，対話中の各発話ならびに発話に含まれるキーワードの相互の関連を 2 次元の空間構造として表現することにより，対話の話題構造を獲得する．この空間を用いてキーワード抽出することにより，特定の話題に関連するキーワードや，複数の話題にまたがって関連するキーワードなど，対話内容を考慮したキーワード抽出が可能となる．こうして得られたキーワードに，さらに第 2 章で述べた手法などを組み合わせることにより，対話内容と様々な程度の関連性をもつ情報の抽出が可能となった．このシステムを，実際の人間同士の対話に一定間隔で自動的に割り込ませること

による実験を行った結果，同期的かつ実時間的になされる対話状況においては，複数の話題にまたがる関連性をもつ情報が発散的思考の触発に有効であることがわかった．また，システムの介入のタイミングについては，対話が活発になされている状況では比較的低頻度に，逆に対話が不活発な状況では高頻度に介入することが効果的であることが示唆された．

第 4 章では，第 3 章で得たシステムの割り込みタイミングに関する知見に基づき，対話の活性度を計るための材料として重要となる，話題の転換 / 不転換を検出する手法を開発した．本章で開発した手法は，明確な目標や対話構造をもたず，かつ様々な分野に話題が展開する自由対話に適用可能であり，しかもある時点での処理対象発話以後の発話から得られる情報を，当該処理対象発話における話題転換の有無の判断に用いないため，無遅延検出が可能である．雑誌の対談記事を用いた被験者実験によって本手法の話題転換検出性能を評価した結果，本手法は再現率，適合率とも 7 割程度の性能で話題転換点を検出可能であることがわかった．

第 5 章では，第 4 章までの成果に基づき構築された自律的発散的思考支援エージェントを取り込み，さらに収束的思考過程まで含めて，発想の過程を一貫して支援するシステムの実現を目的として構築した，創造的対話支援環境 “AIDE” (Augmented Informative Discussion Environment) について示した．AIDE の実現にあたり，本研究ではマルチエージェントアーキテクチャを採用した．すなわち，まずグループによる思考過程を，思考主体の遷移過程の存在に注目して，個人思考モード，意思疏通モード，協同思考モードの三つの思考モードからなる過程としてモデル化した．ついで，このモデルに基づき，各モードをさらにいくつかの単純なタスクに分解した．この各タスクを専門に支援処理するエージェントを個々に構築することにより，全体として対話における発想の過程を一貫して支援する環境を構築した．AIDE では，各エージェントは共有メモリによって疎に結合され，正規化された形式をもつ「知識」と「視点」情報をエージェント同士および利用者と交換し，順次精錬化していくことにより，機会主義的な手法でグループ全体の意思が構築される．マルチエージェントアーキテクチャを採用することにより，あらかじめゴールもゴールへの筋道も不明な発想という作業に適用可能なシステムの構築が可能となり，しかもシステムの良好な拡張性が実現された．

第 6 章では，非言語的手段による対話行為の創造性支援の実現への着手点として，まず音楽を対象とし，誰もが容易に「音楽」によって自分の意図を表現できるようにすることを目的とした．本章ではこの目的の実現のために，ジャズ理論に基づき，音楽的状況に応じた音の「機能」を判断し，演奏インタフェース上のある演奏ポジションには常に一定の機能をもつ音を割り付ける，音機能固定マッピングの考え方による楽器を実現した．プロトタイプシステムを用いた実験の結果，ジャズ理論や楽器演奏の技術に習熟していない者であっても，本プロトタイプシステムを用いることで，比較的容易にジャズらしい演奏を行うことが可能となることが示された．さらに，継続

的に本システムを使用することで，演奏に自分なりの創造性を反映させ，演奏内容を向上させていくことが可能であることが示唆された．したがって，本手法における支援機能は人の創造性を制限しない．このシステムを用いることにより，誰もが音楽を介した創造的対話（たとえば，ジャズにおけるジャム・セッションなどの演奏形態）を楽しむことが可能となる．また，「機能固定マッピング」の考え方は，音楽以外の手段に対しても適用可能であることも，併せて示した．

第 7 章では，音楽における対話型の演奏として，ジャズにおける 4 バース形式の演奏をとりあげ，この形式の演奏における創造性を支援することを目的とし，音楽における対話と言語対話との構造的類似性に着目し，第 5 章で示した AIDE の枠組みを音楽に持ち込んだ，音楽演奏における創造性支援システム Music–AIDE を構築した．このシステムは，フレーズの特性やフレーズ相互の関連性を 2 次元空間構造として提示することにより，演奏者に対して様々な気づきを与えるものである．試作したプロトタイプシステムによる簡単な実験から，本システムの使用により，演奏者が自分の演奏の特徴を客観的に認識できるとともに，さらに新たなフレーズ創作の方向性を得る可能性があることが示唆された．

8.2 応用分野

本節では，以上で開発してきた技術が，どのような分野に応用可能かについて論じる．

8.2.1 Conversationalist と AIDE の応用分野

本項では，第 2章から第 5章までで示した，自然言語による対話をベースとした創造性支援システム Conversationalist および AIDE についての応用を示す．

従来，創造にかかわる作業は，ほぼ完全に人間の能力のみに依存した手作り的なやり方で行われてきた．しかしながら，社会全体として扱わねばならない知識の量は増加の一途をたどり，同時にその質は絶えず高度化しているため，個人的な専門家による手工業的な「発想作業」のみに依存するやり方では限界となりつつある．このため文献 [85] は，人間の創造性という能力を外部化する「創造化社会」の到来を予測している．このなかで，かつての工業化の時代には機械が，情報化の時代にはコンピュータが企業における人間活動の主要なツールであったのと同様に，創造化の時代には工学的にシステム化された手法によって発想を支援するツールであるコンセプタ[1]が重要なツールとなると位置づけ，その 1 日も早い実現を訴えている．本研究で提案したシステムおよび各機能モジュールは，このような要請に対する一解答であるとみなせるだろう．

[1]（株）野村総合研究所による「発想支援システム」を指す造語

同文献 [85] のなかで，発想支援システムの産業応用の萌芽的事例として，広告会社におけるコピー制作支援が紹介されている．たとえば（株）電通では，コピー制作の支援を行う実験システム「源内」を開発している．このシステムは語義ベース連想情報検索による生成レベルの支援を行うシステムである．源内は，基本的に「1 人ブレインストーミング」を対象としているもののようであるが，本研究で開発した AIDE や Conversationalist の手法を応用することによって，グループによるコピー制作の支援も可能となるだろう．これによって，より高い制作効率が期待できる．

Conversationalist および AIDE の，工学分野に対する応用としては，一般的な発想支援システムの場合と同様に，製品の製造開発における要求定義工程（要求の認識，要求の表現，要求のモデル化の工程）の支援があげられる．この工程は，製造開発工程の最上流に位置し，製造開発の全工程中でも特に重要度が高いとされている [104]．

たとえば文献 [86] には，本田技研工業（株）における例があげられている．本田技研工業（株）は 1978 年に「冒険しよう」というスローガンを提示し，あらたな価値観に基づく乗用車の開発を指示した．これは一つの要求ではあるが，極めて抽象的な概念であり，そのままでは現実の製品には結び付かない．そこで本田技研工業（株）は，その具現化を行うプロジェクトチームを結成した．プロジェクトチームは開発の過程で，しばしば「タマ出し会」と呼ぶブレインストーミング合宿を行った．そして，全社スローガンは次第により具体性の高い中範囲コンセプト（「マン・マキシマム，メカ・ミニマム」，「トールボーイ」など）へとブレイクダウンされ，最終的にシティという，当時のクルマの常識を打ち破る，画期的ヒット車を産み出している．本田技研工業（株）に限らず，このようなブレインストーミング，あるいはそれに準じる会議，会合を行う企業は，ほかにも多く存在する．

このように，ブレインストーミングは企業における新製品の現場で現実に利用されており，かつ非常に効果的な創造的思考の手法である．さらに，上記の本田技研工業（株）におけるブレインストーミングでは，二つの興味深い事実が示されている．第一は，この会の出席者はプロジェクトメンバーに限定されず，関心のある人なら誰でも参加でき，資格や肩書きは一切問われない点である．第二は，この非公式な会議は，温泉旅館などで食事をしながら，あるいは風呂に入りながらといった，非常にリラックスした状況で行われていたという点である．

第一の事実は，ブレインストーミングにおける「門外漢」の存在の効果を認め，その参加を積極的に求めていることを示している．しかしながら，常に門外漢としての部外者が参加できるとは限らない．また，場合によっては，ある特定の分野の知識をもつ人と議論したいとプロジェクトメンバーが考える場合もありうるが，そのような人物を常に参加させることができるとも限らない．このような場合に，本研究で示した門外漢アルゴリズムや Conversationalist を応用することにより，必要な分野の知識をもつ仮想的な門外漢を随時会議に参加させることができるようになるだろう．また，資格や肩書きは問わないとは言うものの，現実には上司を目の前にして，その上

司の意見と対立するような案は出しにくい．しかし，AIDE のようなコンピュータ会議システムによる非対面的な会議環境を用いれば，各参加者の匿名性を容易に実現できるため，このような問題も解決可能である．

第二の事実は，発想という作業を行う際の思考者の「構え」を低くすることが必要であることを示しているといえるだろう．一般的な発想法は，その実施者に特殊な思考法や思考環境を課す．この制約がその発想法ならではの効果を発揮させる要因となるのだが，一方でその特殊性は日常性からの乖離を招き，その結果思考者に心理的障壁を産み出す．既存の多くの発想支援システムは何らかの発想法に基づき構築されているため，この特殊性を必然的に内包する．このことが，従来の発想支援システムを使いづらいものとしている可能性が高い．一方，本研究で示した AIDE および Conversationalist は，基本的にブレインストーミングの方法論を下敷きにしているが，その原則を忠実に踏襲しているわけではない．むしろ，雑談などの，きわめて日常的なインフォーマル・コミュニケーションを対象とし，そのなかに潜在的に存在する創造性を刺激する効果を拡張している．この結果，AIDE および Conversationalist は，日常業務からの乖離を生じることなく，しかもそこにプラス・アルファの効果をもたらすことが可能となっている．この意味で，AIDE および Conversationalist は，堀が提唱する第二世代の発想支援システム [34] の一実現となっていると言えるだろう．

次に，社会的なツールとしての応用の可能性について示す．近年，コミュニティ・コンピューティングと呼ばれる分野の研究[2]が開始されている．ここでコミュニティとは，明確な共通目的や体系だった構造をもつ一般的な意味での組織やグループと，単なる人の集合との中間的な特性をもつ人の集合のことで，コミュニティ内の人々は，弱い共通性によって相互に関連づけられている．たとえば，なんらかの国際会議に集まった会議参加者達は，その国際会議の議題に対する興味をもつという共通性によって関連づけられたコミュニティを構成するとみなせる．コミュニティ・コンピューティング研究では，このようなコミュニティに対し，興味にかかわる情報の提供や，さらにより近い興味をもつ人どうしへの出会いの場の提供などの様々な支援を行うための方法論やツールを研究する．コミュニティ・コンピューティングの事例としては，マルチエージェントシステムに関する国際会議を処理対象とした ICMAS'96 Mobile Assistant Project [70, 57, 80] や，ATR 知能映像通信研究所のオープンハウスにおける見学支援を処理対象とした C-MAP[107] などがある．

AIDE と Conversationalist も，このようなコミュニティ・コンピューティングの 1 システムとして応用できる素質をもつ [59]．AIDE がその基礎とするグループ思考モデルは，ばらばらな個人を意思疎通によって有機的に結合された個によるグループへと統合する機能（意思疎通支援ブロック）をもつ．この機能は，そのままコミュニ

[2] これは，従来 Communityware という名称で呼ばれていた研究分野であるが，既存の登録商標との干渉を避けるため，1998 年 5 月以降 Community Computing という呼称が用いられ始めており，本論文でもこれにならった．

ティの形成過程に応用できる．また Conversationalist も，コミュニティ形成に独自の役割を果たす．たとえば，非常に粗い粒度のレベルで興味を同じくする人々の集団が，さらにやや細かい粒度のレベルの興味に基づくサブグループに次第に分化しつつある状態を想定する．この時，Conversationalist がそれらのサブグループ個々の興味にまたがる情報を提供することにより，サブグループの再構成を促すことができる．このことは，偶然最初に見つかったサブグループ分割というある種のローカルミニマム的な解を，より適切な解へ導く効果をもつ．また同時に，一旦サブグループが固まると疎になりがちなサブグループ間の情報交流を促進する効果も期待できる．

8.2.2 Music–AIDE の応用分野

第 7章では，Music–AIDE を実時間的利用状況における音楽対話支援システムとして説明した．しかしながら，Music–AIDE には，そのような状況ではない静的な状況での応用も考えられる．その例として，音楽教育への適用が考えられよう．たとえば，音機能固定マッピングの楽器は，第 6章で述べたように，音の機能を利用した曲作りを，音楽理論に習熟していない音楽の初学者に対しても可能とする．これを逆に利用すれば，言葉での説明では理解しにくい音の機能の意味を容易に体験することができるようになる．また，ジャズの初学者は，即興演奏を行うにあたって自分の演奏を幅広い視点から客観的に見ることができない．この結果，たとえば理論に基づく正しい音の使用のみに意識が集中し，リズム構造がワン・パターンなものになるなどして，演奏に面白味や創意がなくなってしまうなどの問題が起こる．この際，指導者が傍らにいてそれらの問題を指摘することができればよいが，独りで練習する場合には自分の演奏の問題に気づけない．この様な場合，Music–AIDE を用いて，自分の演奏するフレーズの関係や演奏の全体構造などを客観的視点から表示すれば，このような問題点に気づくことができるようになるだろう．さらには，著名な演奏家の演奏を空間構造として表現することによる演奏表現の学習などへの使用，作曲にあたっての吟味用のツールとしての利用なども考えられる [78]．

また，音機能固定マッピングに基づく楽器は，新たな形態の楽器となる素質をもつ．特に，音の機能理解のための理論的判断を必要としないことによる認知負荷の低さゆえに，音楽の演奏のみに専念できないような状況における音楽演奏用の楽器として，特に有効であると考えられる．このような状況としては，第 6章で示したような，マルチメディア・アートの実時間生成装置のための音楽演奏装置として有望である．また，同様にダンスをしながら同時にダンスミュージックの演奏を行うような場面においても効果的と考えられ，新たな音楽の楽しみ方を提案するものとなりうる．

8.2.3 各技術の個別的応用

その他，本研究で実現された各技術は，統合システムの一部として以外にも，それぞれに応用が考えられる．以下にその例を三つ示す．

門外漢アルゴリズム 門外漢アルゴリズムは，ある知識分野特有の視点を構成し，その視点を通した情報検索を実現するものである．そこで，システムのもつテキストベースと連想辞書を構築するもととなる情報断片群を特定の人物の知識に基づくものとすれば，そのような人物のエージェントを構築できるだろう．たとえば，自分の著作物をもとにエージェントを構築すれば，自分が参加できないブレインストーミングへのエージェントの代理参加が可能となるし，さらには自分自身との仮想的対話が可能となる．これは，自分が既知であるにもかかわらず関連性に気づいていない情報間の関連の発見に有効であろう．また，過去の科学者による著作物を用いて現代の情報を見直すといった応用も考えられる．

視点と知識の重畳エージェント AIDE の意思疎通支援ブロックの視点と知識の重畳エージェントは，たとえば博物館や美術館などの展示を，見学者それぞれの興味に応じて再構成するために応用することができる [44, 45]．博物館などの展示は，専門家である学芸員の知識体系の反映であり，体系づけられた知識が展示を介して見学者に伝えられる．しかしながら，見学者の興味や知識量は見学者それぞれに様々であるため，従来の博物館などにおける画一的な知識伝達形態では，見学者個々の知的欲求に十分に応えることができない．近年盛んになりつつある，主に画像データベースを利用した電子博物館の実現によって，この問題は部分的に解消されつつある．しかし，既存の電子博物館におけるデータベースの応用形態では，体系をもたないフラットな構造のデータベースから見学者の興味のみを基準として情報提供を行うか，あるいは学芸員があらかじめ体系づけた構造の一部を見学者の興味に応じて切り出して提示するかのいずれかである．前者の場合，学芸員のもつ貴重な専門的知識が見学者に十分に伝えられない．後者の場合は，結局従来の博物館における問題をそのまま抱えている．そこで，視点と知識の重畳エージェントを応用し，見学者の興味という「視点」と学芸員の「知識」を重畳することにより得られる視点知識重畳空間を用いることにより，展示の構造をそれらの両者に依存した形で再構成することが可能となるであろう．この再構成された展示は，学芸員から見学者へと知識を伝達するのみならず，その展示を学芸員が見ることにより，見学者から学芸員へ見学者の興味を伝達する，双方向コミュニケーションの場を実現する．しかも，見学者の興味に基づく思いがけない関連性を学芸員に発見させる効果も期待される．このように，本技術は次世代の電子博物館実現に重要な役割を果たすものになると期待できる．

話題転換検出 本研究では，話題転換点の検出技術は，対話への話題提供タイミング決定のためにのみ応用しているが，このほかにも多くの応用が考えられよう．たとえば，フリーディスカッションを話題毎にまとめて要約していく書記システム，あるいは議論の流れを制御するための議長システムなどの実現には，話題という単位での対話の分割機能が不可欠であり，本研究で開発した話題転換点の認識技術が有効に活用できるだろう．

また，テレビ局などにおけるカメラワークの自動化の研究がなされつつある．その実現手法として映像の変化を利用するもの（たとえば SmartCams[8]）があるが，このほかにドラマや劇などのあらかじめ筋書きが分かっている対象の場合にはそのシナリオを利用する手法が考えられる．その例として，文献 [25] は日本の伝統芸能である能を対象とし，能のシナリオを活用したカメラワークの自動化を提案しているが，さらに進んで事前にシナリオが与えられていない対談番組などに対するカメラワークの自動化を実現するために，本研究における話題転換検出技術の応用が考えられる．

8.3 今後の研究課題

今後の研究課題として，以下のような項目が考えられる．現在の実装における門外漢アルゴリズムに基づくシステムでは，知識を構成する基本的な語彙はおおむね同じで，その語彙中の各語の関連が異なる構造をもつような知識分野を扱うことを前提としていると言える．しかしながら，現実には根本的に異なる語彙を使用する知識分野も存在し，そのような場合に現在のシステムは適用できない．したがって，より幅広い知識分野に対し適用可能とするためには，語彙の差を吸収するためのオントロジー [62] を備えることが必要となろう．

また，現在のキーワード抽出手法と重みづけの手法では，ノイズ的なキーワードも多数含まれてしまうことがある．その最大の原因は形態素解析の精度の問題であり，特に自由対話を対象とする場合現状の自然言語処理技術では高い精度での形態素解析を実現することが難しい．この点については，今後の自然言語処理研究の進歩に期待したい．また，キーワードの選出も現状は非常に単純な方法を用いているが，より発話の要旨との関連が高いキーワードを精度良く抽出することができるようにするために，構文解析による話題候補語同定機能なども組み込む必要がある．

AIDE には，現状思考支援を行うエージェントが七つ組み込まれているが，さらに柔軟かつ高度な思考支援を実現するために，多様なエージェントの実装を進めたい．

Music–AIDE は AIDE の音楽への適用によって実現されているが，現状はまだ AIDE がもつ思考支援エージェントのごく一部が実現されているにすぎないため，AIDE のその他のエージェント（たとえば，Music–Conversationalist の実現によるコンピュータとのセッション機能など）の適用や，音楽特有の支援エージェントの実現などを進めたい．

また，AIDE, Conversationalist, Music–AIDE いずれについても，現段階では研究室レベルでの利用が実現している段階であるが，今後はより現実的な企業における製品開発の現場や，音楽制作の現場などに適用していきたいと考えている．

謝辞

本研究において，懇切丁寧なご指導とご鞭撻と格別のご配慮を賜りました，大阪大学大学院工学研究科電子情報エネルギー工学専攻 岸野 文郎 教授に慎んで深謝の意を捧げます．先生には，私が株式会社エイ・ティ・アール通信システム研究所 知能処理研究室に出向した当時，同研究室室長としてご指導いただいて以来現在に至るまで，研究の遂行と本論文のまとめにあたり数多くのことを教えていただきました．また，個人的な相談にもいつも親身に応じて下さり，多くのご助力，ご助言をいただきました．岸野先生の存在なくして，今日の私はありえなかったと思います．

本研究をまとめるにあたり，貴重なお時間を割いていただき，懇切なるご教示とご助言を賜りました，大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻 西尾 章治郎 教授 ならびに 薦田 憲久 教授に慎んで深謝の意を捧げます．

本研究の初期段階から現在に至るまで多くの有益なご助言を下さり，学会での発表などにお誘い下さいました，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科知識社会システム学専攻 國藤 進 教授に心から感謝いたします．先生には発想支援技術の要諦を教えていただきました．

本研究は，平成 4 年 6 月から平成 7 年 3 月まで株式会社エイ・ティ・アール通信システム研究所において，平成 7 年 4 月から平成 10 年 4 月まで株式会社エイ・ティ・アール知能映像通信研究所において，研究業務の一環として行った．その期間において研究の機会を与えて下さった 早稲田大学理工学部総合研究センター 寺島 信義 教授（当時，株式会社エイ・ティ・アール通信システム研究所社長），ならびに株式会社エイ・ティ・アール知能映像通信研究所社長 中津 良平 博士に深く感謝申し上げます．また，その間，本研究に関して有益なご討論とご助言，ご協力を頂いた，株式会社エイ・ティ・アール知能映像通信研究所第 2 研究室室長 間瀬 健二 博士，同所第 5 研究室室長 宮里 勉 博士，日本電信電話株式会社 ヒューマンインタフェース研究所 望月 研二 氏（当時株式会社エイ・ティ・アール通信システム研究所 知能処理研究室），同所 安部 伸治 博士（当時株式会社エイ・ティ・アール知能映像通信研究所第 2 研究室 ），門林 理恵子 博士，角 康之 博士をはじめとする，株式会社エイ・ティ・アール通信システム研究所知能処理研究室ならびに株式会社エイ・ティ・アール知能映像通信研究所第 2 研究室の皆様に心からお礼申し上げます．

音楽関係の研究にあたり，音楽の理論的側面の検討や実験などにおいて多くのご協

力やご示唆をいただいた，通商産業省工業技術院大阪工業技術研究所 渡邊 洋 博士，神戸大学大学院文化学研究科文科構造専攻 馬田 一郎 氏をはじめとする，ATR Jazz Band の皆様に深く感謝いたします．

本研究において開発した各種システムの実装にあたって多くのご尽力をいただいた，株式会社 SCC 岡田 文明 氏，同社 佐藤 治 氏，株式会社東洋情報システム 高橋 誠 氏，同社 三井 直貴 氏に心からお礼申し上げます．

筆者が松下電器産業株式会社在職当時から現在に至るまで，個人的な相談にも親身になって応じて下さり，多くのご助力ご助言をいただきました，株式会社松下電器情報システム名古屋研究所社長 杉本 豊三 氏に厚くお礼申し上げます．

最後に，私生活の面でいつも私を支え，励まし，勇気づけてくれた妻 由利 と，その無邪気さでいつも私の心を和ませてくれた愛犬 さくら に，心の底からの感謝をこめて，ありがとうと言いたいと思います．

参考文献

[1] 荒木円博：パネル "音楽と CSCW" のための問題提起，情報処理学会研究報告音楽情報科学 11–11–1, pp.73–74 (1995).

[2] 淺香 淳（編）：音楽中辞典，音楽之友社 (1994).

[3] Band-in-a-Box 6.0 for Macintosh 日本語版ユーザーズマニュアル，株式会社カメオインタラクティブ (1996).

[4] Boden, M. A.: Agents and Creativity,*Communications of the ACM*, Vol.37, No.7, pp.117–121 (1994).

[5] Borchers, J., and Muhlhaser, M.: Musical Design Patterns: An Example of a Human-Centered Model of Interactive Multimedia, In *Proc. of International Conference on Multimedia Computing and Systems,* pp.63–70, IEEE (1997).

[6] カシオキーボード CTK–620L 取扱説明書，カシオ計算機株式会社．

[7] Casiotone CT–647 取扱説明書，カシオ計算機株式会社．

[8] Pinhanez, C., and Bobick, A.: Intelligent Studios: Modeling Space and Action to Control TV Cameras, *Applied Artificial Intelligence,* Vol.11(4), pp.285–306 (1997).

[9] Dannenberg, R. B.: An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment, In *Proc. of International Computer Music Conference,* pp.193–198 (1984).

[10] 江波戸 昭：世界の合唱音楽（1）諸民族の合唱，ハーモニー第 104 号， Vol.28, No.104, pp.14–17 (1998).

[11] Edmonds, E. A., Candy, L., Jones, R., and Soufi, B.: Support for Collaborative Design: Agents and Emergence, *Communications of the ACM,* Vol.37, No.7, pp.41–47 (1994).

[12] Fels, S., Nishimoto, K., and Mase, K.: MusiKalScope: A Graphical Musical Instrument, *IEEE Multimedia Magazine* (to appear)

[13] Finke, R. A., Ward, T. B., and Smith, S. M.: *Creative Cognition,* MIT Press (1992).

[14] Fisher Idea Systems, Inc.: IdeaFisher — An Introduction (1990).

[15] Fish, R. S. et al.: The Video Window System in Informal Communications, In *Proc. of CSCW'90* (1990).

[16] Sparacino, F.: Choreographing media for interactive virtual environments, Master Thesis, Media Arts and Sciences, M.I.T. (1996).

[17] 淵 一博，古川康一，溝口文雄：知識情報処理シリーズ 5 インタフェースの科学，共立出版 (1987).

[18] Fujita, K., and Kunifuji, S.: A Realization of a Reflection of Personal Information on Distributed Brainstorming Environment, In *Worldwide Computing and its Applications '97,* Masuda, T., Masunaga, Y., and Tsukamoto, M. Eds., Vol.1274, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, pp.166–181 (1997).

[19] 藤田邦彦，西本一志，角 康之，國藤 進，間瀬健二：議論の時間的構造の可視化による会議支援，第 19 回システム工学部会研究会「発想支援システム」資料，計測自動制御学会， pp.73–78 (1997).

[20] J. J. ゴードン著，大鹿譲，金野正訳：シネクティクス，丸善 (1964)．

[21] 後藤真孝，平田圭二：ハービー君：演繹オブジェクト指向に基づいてジャズらしいコードにリハーモナイズするシステム，情報処理学会研究報告 音楽情報科学 16–6, pp.33–38 (1996).

[22] 後藤真孝，日高伊佐夫，松本英明，黒田洋介，村岡洋一：すべてのプレーヤーが対等なジャズセッションシステム I. システムの全体構想と分散環境での実装，情報処理学会研究報告 音楽情報科学 14–4, pp.21–28 (1996).

[23] Grosz, B. J., and Sidner, C. L.: Attention, Intentions, and Structure of Discourse, *Computational Linguistics,* Vol.12, No.3, pp.175–204 (1986).

[24] 橋田浩一：知能発掘とコミュニケーション増幅，人工知能学会誌， Vol.13, No.1, pp.21–22 (1998).

[25] 灰塚凡樹，井上誠喜：カメラワーク生成に関する一考察，電子情報通信学会技術報告 PRMU96–201, pp.67–74 (1997).

[26] Hearst, M. A., and Plaunt, C.: Subtopic Structuring for Full-Length Document Access, In *Proc. of SIGIR,* pp.59–68 (1993).

[27] Heath, C., and Luff, P.: Disembodied Conduct: Communication through Video in a Multi-Media Office Environment, In *Proc. of CHI '91,* pp.25–38 (1991).

[28] 日高伊佐夫，後藤真孝，村岡洋一：ジャズの独奏の変化に対応する自動伴奏システム，情報処理学会研究報告 音楽情報科学 9–2, pp.7–12 (1995).

[29] 平田富夫，加藤敏洋：ユークリッド距離変換アルゴリズム，情報処理学会研究報告 アルゴリズム 41–4, pp.25–31 (1994).

[30] 廣田隆一郎：イソップ・マーケティング戦略情報システム，北陸先端科学技術大学院大学國藤研究室主催 第 2 回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集 (1993).

[31] Hori, K., and Ohsuga, S.: Toward Computer Aided Creation, In *Proc. of PRICAI'90,* pp.607–612 (1990).

[32] 堀 浩一：発想支援システムの効果を議論するための一仮説，情報処理学会論文誌， Vol.35, No.10, pp.1998–2008 (1994).

[33] Hori, K.: A model to explain and predict the effect of human-computer interaction in the articulation process for concept formation, In *Information Modelling and Knowledge Bases,* Tanaka, Y., Kangassalo, H., Jaakkola, H., and Yamamoto, A. Eds., Vol.7, pp.36–43, Amsterdam: IOS press (1996).

[34] 堀 浩一：次世代思考支援システムのための創造性支援仮説の再構成，電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会講演論文集， SA–9–1, pp.320–321 (1996).

[35] 堀内靖雄，橋本周司：伴奏システム，情報処理， Vol.35, No.9, pp.815–821 (1994).

[36] 堀内靖雄，藤井 敦，田中穂積：複数の人間と協調する演奏システム，コンピュータソフトウェア， Vol.12, No.5, pp.63–71 (1995).

[37] 堀内靖雄，三井 卓，井宮 淳，市川 熹：二人の人間による演奏の収録と分析，情報処理学会研究報告 音楽情報科学 15–4， pp.21–26 (1996).

[38] 市川亀久彌：創造性の科学 — 図解・等価変換理論入門 —，日本放送出版協会 (1970)．

[39] Imai, K., Nonaka, I., and Takeuchi, H.: Managing the New Product Development Process, In *75th Anniversary Colloquim Productivity and Technology,* Harvard Business School, pp.28–29 (1984).

[40] 石田 亨：エージェントを考える，人工知能学会誌，Vol.10, No.5, pp.663–667 (1995).

[41] 石田 亨，片桐恭弘，桑原和宏：分散人工知能，並列処理シリーズ 11，pp.70–79, コロナ社 (1996).

[42] 石塚 満：知識の表現と高速推論，丸善 (1996).

[43] Johnson-Laird, P. N.: *Human and Machine Thinking,* Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey (1993).

[44] Kadobayashi, R., Nishimoto, K., Sumi, Y., and Mase, K.: Personalizing Museum Exhibition by Mediating Agents, In *Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence,* del Pobli, A. P., Mira, J., and Ali, M. Eds., Vol.1416, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, pp.648–657 (1998).

[45] Kadobayashi, R., Nishimoto, K., Sumi, Y., and Mase, K.: Evaluation of Mediating Agents that Personalize Museum Exhibition, In *Proc. of International Workshop on Network-Based Information Systems (NBIS'98)* (to appear).

[46] 神田陽治，渡部 勇，三末和男，平岩真一，増井誠生：グループ発想支援システム GrIPS，人工知能学会誌，Vol.8, No.5, pp.601–610 (1993).

[47] 金森 務，片寄晴弘，新美康永，平井 宏，井口征士：ジャズセッションシステムのための音楽認識処理の一実現法，情報処理学会論文誌，Vol. 36, No. 1, pp.139–152 (1995).

[48] 加藤直人，森元 逞：統計的手法による談話構造解析，人工知能学会研究会資料 SIG–SLUD–9502–3，pp.16–23 (1995).

[49] 河合和久，塩見彰睦，竹田尚彦，大岩 元：協調作業支援機能を持ったカード操作ツール KJ エディタの評価実験，人工知能学会誌，Vol.8, No.5, pp.583–592 (1993).

[50] 川喜田二郎：発想法　創造性開発のために，中公新書 (1962).

[51] 金 淵培：エージェント技術の現状とその実用化，人工知能学会誌，Vol.12, No.6, pp.850–860 (1997).

[52] Kotani, A., and Maes, P.: An Environment For Musical Collaboration Between Agents and Users, In *Proc. of Lifelike Computer Characters '95,* p.54 (1995).

[53] 小山雅庸，河合和久，大岩 元：カード操作ツール KJ エディタの実現と評価，コンピュータソフトウェア，日本ソフトウェア科学会， Vol.9, No.5, pp.38–53 (1992).

[54] 國藤 進，鶴巻宏治，古川康一：仮説選定機構の一実現法，人工知能学会誌，Vol.1, No.2, pp.228–237 (1986).

[55] 國藤 進：発想支援システムの研究開発動向とその課題，人工知能学会誌，Vol.8, No.5, pp.552–559 (1993).

[56] 國藤 進：知識創造プロセスとその支援環境，人工知能学会誌， Vol.13, No.1, pp.26–27 (1998).

[57] Maeda, H., Kajihara, M., Adachi, H., Sawada, A., Takeda, H., and Nishida, T.: Weak information structure for human information sharing, In *Proc. of IJCAI–97 Workshop on Social Interaction and Communityware,* pp.7–12 (1997).

[58] Marsalis, W., 小澤征爾：マルサリス＆小澤 オン・ミュージック — 吹奏楽からジャズへ —， NHK 教育テレビ．

[59] Mase, K., Sumi, Y., and Nishimoto, K.: Informal Conversation Environment for Collaborative Concept Formation, In *Community Computing: Collaboration over Global Information Networks,* Ishida, T. Ed., John Wiley & Sons (in printing).

[60] 三末和男，杉山公造：図的発想支援システム D-ABDUCTOR の開発について，情報処理学会論文誌， Vol.35, No.9, pp.1739–1749 (1994).

[61] 宮地泰造，伊草ひとみ，近藤省造，太細 孝，古川康一：話題管理機能を持つ対話システムの試作，情報処理学会研究報告 知識工学と人工知能 38–7， pp.1–8 (1985).

[62] 溝口理一郎，池田 満：オントロジー工学序説 — 内容指向研究の基盤技術と理論の確立を目指して —，人工知能学会誌， Vol.12, No.4, pp.559–569 (1987).

[63] Morris J., and Hirst G.: Lexical Cohesion Computed by Thesaural Relations as an Indicator of the Structure of Text, *Computational Linguistics,* Vol.17, No.1, pp.21–48 (1991).

[64] 宗森 純，堀切一郎，長澤庸二：発想支援システム郡元の分散協調型 KJ 法実験への適用と評価，情報処理学会論文誌， Vol.35, No.1, pp.143–153 (1994).

[65] 宗森 純，五郎丸秀樹，長澤庸二：発想支援グループウェアの実施に及ぼす分散環境の影響，情報処理学会論文誌， Vol.36, No.6, pp.1350–1358 (1995).

[66] Murdock, B. B., Jr.: Short-term retention of single paired-associates, *Psychological Reports,* Vol.8, p.280 (1961).

[67] 中野 馨：アソシアトロン —連想記憶のモデルと知的情報処理—，昭晃堂 (1972).

[68] 中山正和：創造工学手法，産業能率短期大出版 (1967).

[69] 中山正和：発想法のすべて，産業能率大学出版部 (1986).

[70] Nishibe, Y., Waki, H., Morihara, I., and Hattori, F.: Analyzing social interactions in massive mobile computing —Experiments of ICMAS'96 Mobile Assistant Project—, In *Proc. of IJCAI–97 Workshop on Social Interaction and Communityware,* pp.19–24 (1997).

[71] 西本一志，望月研二，岸野文郎：発想支援システムに関する一考察，情報処理学会第 46 回全国大会講演論文集， Vol.6, 7R–2, pp.6-283–6-284 (1993).

[72] 西本一志，望月研二，宮里 勉，岸野文郎：発散的思考支援 —異質性のある情報の提供手法に関する検討—，人工知能学会研究会資料 SIG–HICG–9301–1, pp.1–8 (1993).

[73] 西本一志，安部伸治，宮里 勉，岸野文郎：連想記憶を用いた発散的思考支援システムにおける提供情報の分野制御の試み，計測自動制御学会第 15 回システム工学部会研究会資料「発想支援技術」， pp.17–24 (1994).

[74] Nishimoto, K., Abe, S., Miyasato, T., and Kishino, F.: A System Supporting The Human Divergent Thinking Process by Provision of Relevant and Heterogeneous Pieces of Information Based on An Outsider Model, In *Proc. of The Eighth International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems,* pp.575–584 (1995).

[75] 西本一志，安部伸治，宮里 勉，岸野文郎：発散的思考支援を目的とする関連性と異質性とを併せ持つ情報の抽出手法の検討，人工知能学会誌， Vol.11, No.6, pp.896–904 (1996).

[76] Nishimoto, K., Sumi, Y., and Mase, K.: Toward an outsider agent for supporting a brainstorming session — an information retrieval method from a different viewpoint, *Knowledge-Based Systems,* Vol.9, No.6, pp.377–384 (1996).

[77] 西本一志，角 康之，間瀬健二：Augmented Informative Discussion Environment “AIDE”，第 2 回知能情報メディアシンポジウム予稿論文集，電子情報通信学会，pp.259–266 (1996).

[78] 西本一志，間瀬健二：作曲や即興演奏における旋律創作ルール抽出支援手法の検討，情報処理学会研究報告 ヒューマンインタフェース（発表予定）.

[79] Nishimoto, K., Sumi, Y., and Mase, K.: Enhancement of Creative Aspects of A Daily Conversation with A Topic Development Agent, In *Coordination Technology for Collaborative Applications — Organizations, Processes, and Agents,* Conen, W., and Neumann, G. Eds., Vol.1364, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, pp.63–76 (1998).

[80] Nishimura, T., Yamaki, H., Komura, T., Itoh, N., Gotoh, T., and Ishida, T: Community Viewer: Visualizing community formation on personal digital assistants, In *Proc. of IJCAI–97 Workshop on Social Interaction and Communityware,* pp.25–30 (1997).

[81] 西里静彦：質量データの数量化 — 双対尺度法とその応用 — ，朝倉出版 (1982).

[82] 西澤信一郎，中川裕志：日本語の自由会話における談話構造の推定～因果関係の場合について～，情報処理学会研究報告 自然言語処理 96–NL–113，pp.89–95 (1996).

[83] Nishizima, M., and Watanabe, K.: Interactive Music Composer based on Neural Networks, In *Proc. of International Computer Music Conference,* pp.53–56 (1992).

[84] 野間春生，角 康之，宮里 勉，間瀬健二：Haptic Interface による思考支援システム，第 13 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集 (1997).

[85] 野村総合研究所総合研究本部（編）：創造の戦略 創造化時代のマネジメント・ノウハウ，野村総合研究所 (1990).

[86] 野中郁次郎，竹内弘高（著），梅本勝博 （訳）：知識創造企業，東洋経済新報社 (1996).

[87] 大川剛直，薦田憲久：概念発想支援による構造モデル作成システム，北陸先端科学技術大学院大学國藤研究室主催 第 2 回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集 (1993).

[88] 大田雅彰，山下洋一，溝口理一郎：音声対話理解のための話題の決定について，電子情報通信学会技術報告 SP–93–129, pp.9–16 (1994).

[89] 岡田謙一，市村 哲，松浦宣彦：グループウェアにおけるコミュニケーション支援, 情報処理, Vol.34, No.8, pp.1028–1036 (1993).

[90] 折原良平：発散的思考支援ツールの研究開発動向，人工知能学会誌， Vol.8, No.5, pp.560–567 (1993).

[91] 折原良平：発想支援システム「知恵の泉 ^{TM}」，人工知能学会誌， Vol.9, No.2, pp.248–257 (1994).

[92] Osborn, A.: Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Thinking, Scribner's, New York (1963).

[93] Poole, D. L., Aleliunas, R., and Goebel, R.: Theorist: A logical reasoning system for defaults and diagnosis, In *Knowledge Representation,* Cercone, N. J., and McCalla, G. Eds., IEEE Press (1985).

[94] Rockwell, R.: An infrastructure for social software, *IEEE SPECTRUM,* Vol.34, No.3, pp.26–31 (1997).

[95] Russel, S. J., and Norvig, R.: Artificial Intelligence — A Modern Approach —, Prentice-Hall International Editions (1995).

[96] 斎藤 一，柳川建久，前田 隆：協調コミュニケーション環境における発想・理解支援機能の実現について，マルチメディア，分散，協調とモーバイルワークショップ論文集，情報処理学会， pp.621–625 (1997).

[97] Salton, G.: Automatic Text Processing: The Transformation, Analysis, and Retrieval of Information by Computer, Addison-Wesley (1989).

[98] 白壁弘次，片寄晴弘，井口征士：セッションシステムにおける個性導入の一検討，情報処理学会研究報告 音楽情報科学 15–15， pp.85–90 (1996).

[99] Shoham, Y.: Agent-oriented programming, *Artificial Intelligence,* Vol.60, No.1, pp.51–92 (1993).

[100] Stefik, M. J., Foster, G., Bobrow, D. G., Kahn, K., and Lanning, S.: Beyond the Chalkboard: Computer Support for Collaboration and Problem Solving in Meetings, *Communication of ACM,* Vol.30, No.1 (1987).

[101] 杉本雅則，堀 浩一，大須賀節雄：設計問題への発想支援システムの応用と発想過程のモデル化の試み，人工知能学会誌， Vol.8, No.5, pp.575–582 (1993).

[102] Sugiyama, K., Misue, K., Watanabe, I., Nitta, K., and Takada, Y.: Emergent media environment for idea creation support, *Knowledge-Based Systems,* Vol.10, No.1, pp.51–58 (1997).

[103] 角 康之，堀 浩一，大須賀節雄：テキストオブジェクトを空間配置することによる思考支援システム，人工知能学会誌， Vol.9, No.1, pp.139–147 (1994).

[104] 角 康之：ソフトウェアの要求モデル構築支援に関する研究 — 要求獲得における発想支援と要求モデルの構造化支援 —，博士学位論文，東京大学工学系研究科情報工学専攻 (1995).

[105] 角 康之，小川竜太，堀 浩一，大須賀節雄，間瀬健二：思考空間の可視化によるコミュニケーション支援手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79–A, No.2, pp.251–260 (1996).

[106] 角 康之，西本一志，間瀬健二：協同発想と情報共有を促進する対話支援環境における情報の個人化，電子情報通信学会論文誌, Vol.J80–D–I, No.7, pp.542–550 (1997).

[107] Sumi Y., Etani, T., Fels, S., Simonet, N., Kobayashi, K., and Mase, K.: C-MAP: Building a context-aware mobile assistant for exhibition tours, In *Proc. of The First Kyoto Meeting on Social Interaction and Communityware* (to appear as a Lecture Note of Springer-Verlag).

[108] 諏訪正樹：創造プロセスの認知科学的分析，人工知能学会誌， Vol.13, No.1, pp.28–29 (1998).

[109] 高杉耕一：スプリングモデルを用いたアイデア触発のための思考支援システムの構築，北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士論文 (1997).

[110] 竹下 敦：対話のインタラクション構造を用いた話題の認識，情報処理学会研究報告 自然言語処理 87–10， pp.75–82 (1992).

[111] 竹下 敦，井上孝史，田中一男：モノローグに対するブラウジング支援のための話題構造抽出，情報処理学会論文誌， Vol.37, No.11, pp.1919–1927 (1996).

[112] 田村 淳：記号間の力学に基づく概念マップ生成システム SPRINGS，情報処理学会論文誌， Vol.33, No.4, pp.465–470 (1992).

[113] 田中一男：係り受け構造の写像に基づく発想支援システム Alva，北陸先端科学技術大学院大学國藤研究室主催 第 2 回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集 (1993).

[114] 伴野 明，岸野文郎：仮想空間操作における入力技術，テレビジョン学会誌，Vol.45, No.4, pp.460–467 (1991).

[115] 和気早苗，加藤博一，才脇直樹，井口征士：テンション・パラメータを用いた協調型自動伴奏システム： JASPER，情報処理学会論文誌， Vol.35, No.7, pp.1469–1481 (1994).

[116] 渡辺貞夫：ジャズ・スタディ，株式会社エー・ティ・エヌ (1996).

[117] 渡部 勇：発散的思考支援システム: Keyword Associator，計測自動制御学会合同シンポジウム論文集， pp.411–418 (1991).

[118] 渡部 勇：発散的思考支援システム「Keyword Associator」第二版，計測自動制御学会第 15 回システム工学部会研究会資料「発想支援技術」， pp.9–16 (1994).

[119] Winograd, T., and Flores, F.: Understanding Computers and Cognition, Addison-Wesley Publishing Co. Inc. (1986).

[120] 柳澤 洋，村上国男：マルチエージェントシステムの合意形成方式，情報処理学会論文誌， Vol.36, No.6, pp.1387–1395 (1995).

[121] 米盛裕二：パースの記号学，勁草書房 (1981).

[122] 吉住英典，堀 浩一，大須賀節雄：概念形成から形状設計までを支援する発想支援システムの一提案，電子情報通信学会論文誌 D–II, Vol.J80–D–II, No.7, pp.1887–1895 (1997).

[123] Young, L. F.: The Metaphor Machine: A Database Method for Creativity Support, *Decision Support Systems,* Vol.3, No.4, pp.309–317 (1987).