

科学知マネジメントのための組織知メモリの構成

Organizational memory for scientific knowledge management

池田 満†, 林 雄介†, 落水 浩一郎‡, 長谷川 忍*

北陸先端科学技術大学院大学

†知識科学研究科 ‡情報科学研究科 *情報科学センター

{ikedam, ochimizum, yusuke, hasegawar}@jaist.ac.jp

Abstract: 本研究では、科学知創造・継承活動と知の概念体系のオントロジーを構成し、それに基づいた科学知マネジメント支援システムの開発を目指している。本稿ではシステムの中核になる組織知メモリの構成を中心に、支援システムが備える主要機能の構成について報告する。また、この研究をベースにしたソフトウェア科学知マネジメントに関する研究プロジェクトの構想を紹介する。

1. はじめに

科学知マネジメントは、科学知の創造・継承を円滑に進める活動である。過去の科学知の蓄積を体系的に整理し、普及させ、萌芽的な知の意義を認め、その成長を促す活動である。本研究の目標は、そのような活動を支える情報基盤を構築することにある。

これに対して、筆者らはこれまでに、理想的な知の交流プロセスを表すモデルとして「デュアルループモデル[林 01]」を提案し、それを基礎にした知の創造・継承活動の支援システム Kfarmの開発を進めている。これまでは主にプロセス(活動の流れ)の側面でのモデル化を中心に研究を進め、その成果を報告している[Hayashi 02][池田 02][津本 02][Hayashi 03]が、本稿では、活動内容の側面から「知」のモデル化に焦点をあてて考察する。具体的な対象はソフトウェア科学知である。

科学知マネジメント支援システムの核は、知の創造・継承過程での、人、知、その媒体(ドキュメントなど)、活動に関する組織知に関する記録であり、新たな創造・継承活動を誘発・促進するうえで重要な役割を果たす。本研究は、この記録の仕組みとして組織知ドキュメントリポジトリを超える、より高次の記憶と活用の仕組みの実現を目指している。人・知・媒体・活動に関して、それが知の創造・継承のプロセスモデル中で果たす役割と知の体系の中での意義を明確にすることで、知の活用を活性化することができると考えており、本研究では、その記録の仕組みを組織知メモリと呼んでいる。

本稿では、最初に本研究で想定している知の創造・継承活動の理想形(2.)と、それに基づいた組織知メモリの構成(3.)を説明する。その組織知メモリを核にした支援システムの全体像(4.)を説明する。さらに、オントロジーの役割に関する基礎的な考察(5.)を述べたうえで、ソフトウェア科学知の体系化に関して考察する(6., 7.).

2. 知の創造・継承のモデル化

本研究では、野中による知識経営に関する理論を基礎にして知の創造・継承を支援する情報システム的设计・開発を進めている。ここでは、その概要を説明する。

野中らは SECI モデルで知の変換プロセスを表し、それを促進させる組織形態の一つとして「ミドル・アップダウン・マネジメント

」を提案している[Nonaka 95]。そこでは、組織の駆動力を生む役割をナレッジプラクティションとよび、そのナレッジプラクティションが直面する現状とトップの持つビジョンをつなぐナレッジプロデューサーという役割を提案している。このナレッジプロデューサーが行う活動は以下のようなものが挙げられる。

- 組織知の状況を適切に捉える。
- 組織にとって新しく、かつ意義が認められた知を共有すべきものとして体系化する。
- 体系化した知を組織のビジョンに基づいて普及させる。

野中はナレッジプロデューサーのこのような活動によって、各構成員の発揮する駆動力が方向付けられ、組織知の創造・継承が促進されるとしている。

この考え方をシステム設計の基礎に反映するべく、我々は知の創造・継承活動を「プロセス」と「内容」の2つの観点にわけてモデル化している。プロセスのモデルは組織の知と個人の知、その媒体に関する活動を表し、内容のモデルは知や媒体の内容を表している。

(1) プロセスのモデル化

本研究では、SECI モデルで示された、知の創造・継承の理想的な抽象プロセスを「デュアルループモデル」としてモデル化している。このモデルにおいて、組織活動は抽象的なレベルのものから、最終的に観測できる具体的なもの、例えば、ドキュメントを「読む」とか「配る」といったものまで段階的に詳細化され、その対応関係が規定されている。この規定については各アクティビティで扱う知の内容を制約するものでなく、知の性質についてのみ制約するものである。

デュアルループモデルでは、組織活動を実質的な活動主体である「個人」とその集積である「組織」の二つの観点から、それぞれ「パーソナルループ」と「オーガニゼショナルループ」の2つのループとしてモデル化し、その間の相互関係を記述している。デュアルループモデルは全体として、知の創造・継承を目的として組織とその構成員、知の媒体の相互関与の望ましい姿を表現している。

(2) 内容のモデル化

一般的に、ドキュメント管理システムなどではキーワードなどによってインデックス付けする事によってドキュメントを管理している。しかし、その多くでは各キーワードが表す意味は暗黙的であ

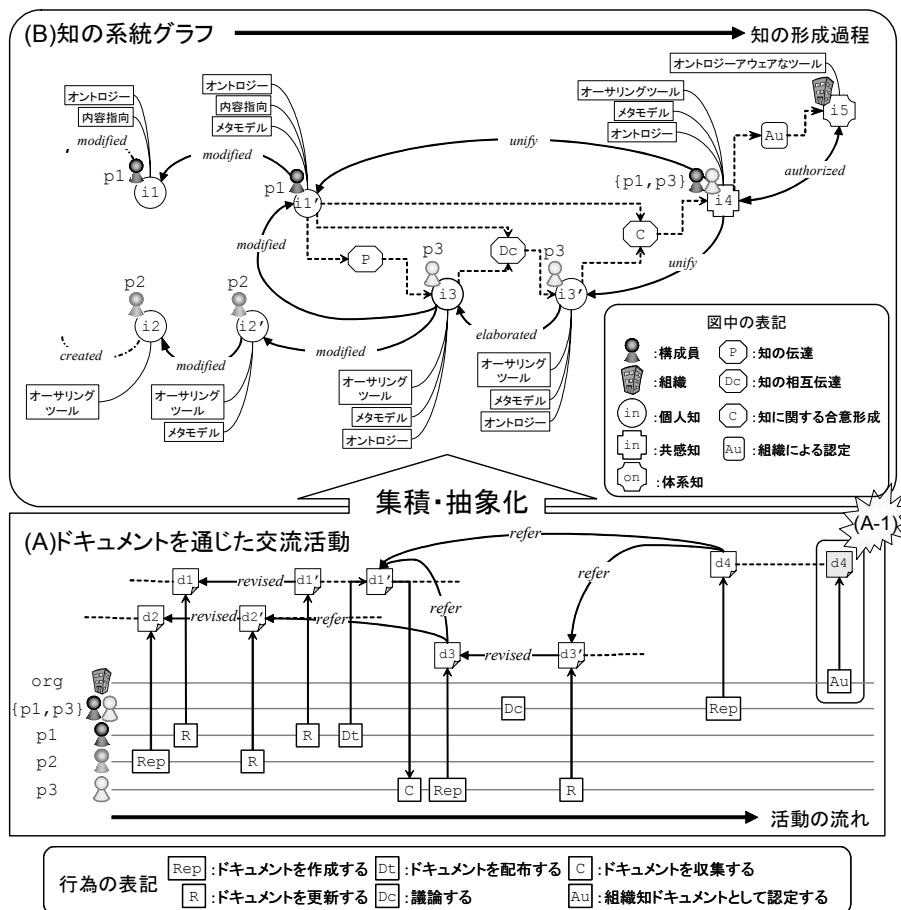


図1 知の系統グラフ

り、一貫性も保証されていないため、共有することが難しく、できたとしても暗黙的な合意の下で行われてきた。組織内で知の媒体としてドキュメントを共有・継承するためには、知の内容を明示化するための合意が必要となる。

本研究では、その合意を明示化する基盤としてオントロジー工学[溝口 98]に注目している。オントロジーは対象世界に関する概念とその関係である。ここでは、その組織が対象とするドメインやタスクの概念を組織知の内容を捉えるためのオントロジーとして定義し、それをを用いてドキュメントに表された知に関連する概念を記述する。本稿の 5.以降では、科学知マネジメントにおけるオントロジーの役割と構成に関して考察する。

3. 組織知メモリ: 知の系統グラフ

前述したプロセスと内容のモデルを結合することによって、つまりデュアルループモデルとオントロジーに基づいて構成員の活動を解釈・再構成することによって、組織知のモデルを構築する。このモデルを「知の系統グラフ[Hayashi 02]」とよんでいる。このモデル化において対象とした問題を図2を使って説明する。

図1(A-1)の部分は組織にとって意義のあるドキュメント d4 が作成されたことを表している。この知の形成過程を知るために利用可能な情報は、図1(A)に示されるように、その過程に関与した媒体と、それに対する人の行為に関する時系列情報である。図1(A)では結果として関与するものだけを示しているが、一般には、組織構成員の行為の時系列情報にはその過程に関与していないものが多く含まれるので、過程に関与しているものを選び出すと同時に、行為間の関係やそこで扱われる知、そこで各 K プラクティショナが果たした役割を明らかにして、知の形成

過程を再構成する必要がある。再構成した結果は図1(B)に示した系統グラフで表現される。この場合は、組織の中で共感された新規性が高い知 i4 が生まれ、知 i5 としてその意義が組織に認められたことがわかる。この過程では、K プラクティショナ p1 から p3 への知の伝達がこの新しい知のきっかけとなっており、p1 に知を生み出す起点としての役割、p3 に知を洗練する役割を見いだすことができる。このように知の形成過程における振る舞いから、各構成員の役割や所有している知を扱うことに関する能力を捉え、ユーザモデルとして明確にする。ユーザモデルは、それ以降に組織の方針に基づいて交流活動の支援や場の設定する際の各人の役割を設定する際の支援情報として用いる。

人が実際に組織内での構成員の知の交流活動を逐一捉え、それをすべて解釈・再構成することは容易ではない。Kfarm は組織知を捉えることを支援するためのプラットフォームとなる。Kfarm 上で行われるユーザの活動はすべて記録され、知の系統グラフとして解釈・再構成される。

3.1 構成要素

知の系統モデルを構成するために必要な概念を以下に列挙する。

- 人: 組織の「知」の保有者であり、創造者。
- 知: 各人が持つ知識やスキル、能力など。知の分類を表 1 に示す。
- 知の媒体: 知を表現したものであり、人の中で知を媒介するもの。本研究ではその一種として、電子化ドキュメントを表現として扱う。

- **活動**: 知やその媒体に関する活動。これを知レベルアクティビティと媒体レベルアクティビティに分類している。媒体レベルアクティビティは人が媒体に対して実際に行う活動であり、知レベルアクティビティは知に関する活動である。この分類を表 2 に示す。

本研究では、媒体を用いた K ブラクティシヨナの行為(=媒体レベルアクティビティ)を捉え、それを知に対する行為(=知レベルアクティビティ)として解釈し、知の系統モデルを構築する。

3.2 活動の解釈による知の系統モデルの構成

知の系統モデルは媒体レイヤと知レイヤの二つのレイヤで構成される。媒体レイヤはドキュメントなど知の媒体と具体的アクティビティによって構成される。一方、知レイヤは知の交流活動として捉えたモデルであり、媒体レイヤのモデルを知と認知的アクティビティとして解釈したモデルである。知レイヤでは、個人的アクティビティによって個人の中での知の変化を、社会的アクティビティによって構成員間での知の変化の繋がりをモデル化する。その繋がりは2つの知の内容の変化によって、derived, elaborated, modified, inspired といった知の内容の変化に関連する関係によって記述する。組織の活動モデルで表されている組織知の創造・継承活動は組織的アクティビティによってモデル化される。ドキュメントとそれに対する媒体レベルアクティビティを捉えて媒体レイヤとして形成し、それを解釈して知と知レベルアクティビティによる知レイヤを形成する。

図2は、図1に示した知の系統グラフについて、その形成過程の一部を示している。図2(A)は媒体レイヤを表しており、具体的アクティビティやドキュメントの更新履歴、参照関係が記述される。ここでは、p1 と p3 が互いにドキュメントを参照しながら自分の考えを整理し、二人で意見をまとめてドキュメント化した流れを示している。これを認知的アクティビティとして解釈・再構成したものが図2(B)の知レイヤである。例えば、媒体レイヤにおける「ドキュメント d1 の更新(C:Revise)」は知レイヤにおける「知の修正(P:Alter)」として解釈される。アクティビティの前後での概念インデックスの変化によって知の変化が捉えられ、derived, elaborated, modified, inspired といった知の間の関係が明らかにされる。このようにして *Kfarm* 上で観測される具体的アクティビティを通じて、組織知の形成過程を認知的アクティビティとして解釈・再構成し、知の系統グラフとして記録する。

表1 知の分類

知の種類	説明
個人知	各個人が所有している知
組織知	他者との関係や組織の観点からの知の位置づけによる知の分類
共感知	個人知の中で複数の人間によって共感、同意がなされている知
概念知	個人知・共感知の中で組織にとって意義があると認定された知
体系知	概念知で、かつ組織が認定した知の体系の中に位置づけられた知

表2 アクティビティの分類(一部)

活動の種類	説明
媒体レベルアクティビティ	知の媒体に関する観測可能な活動
Read	ドキュメントを見る・読むなど
Collect	他者のドキュメントを取得する
Represent	ドキュメントを作成する
Sort	ドキュメントを分類する
Distribute	ドキュメントを他者に提供する
知レベルアクティビティ	知に関する活動
個人的アクティビティ	個人の内的な認知活動
Create	新しい知を自分で作り出す
Acquire	既存の知を自分の中に取り入れる
Amplify	自分の中で構成された知を発展させる
Organize	自分の中に新しくできた、または新しく取り入れた知を既に自分の中にある知の中で位置づける
社会的アクティビティ	他者との間の相互作用に関する活動
Pass	新しく知を形成した人が受動的に知を獲得した
Acquire2	新しく知を形成した人が能動的に知を獲得した
Discuss	複数人(二人以上)での議論などによる知の相互伝達の場での活動が行われた
組織的アクティビティ	組織全体としての観点から捉えた活動
Share	ある知が共感知となった
Authorize	ある知が概念知として認定された
Conceptualize	意義が認められた知について、組織で公認された意味を概念的に明示化する
Combine	体系知ができた
Inherit	概念知・体系知が構成員に獲得される

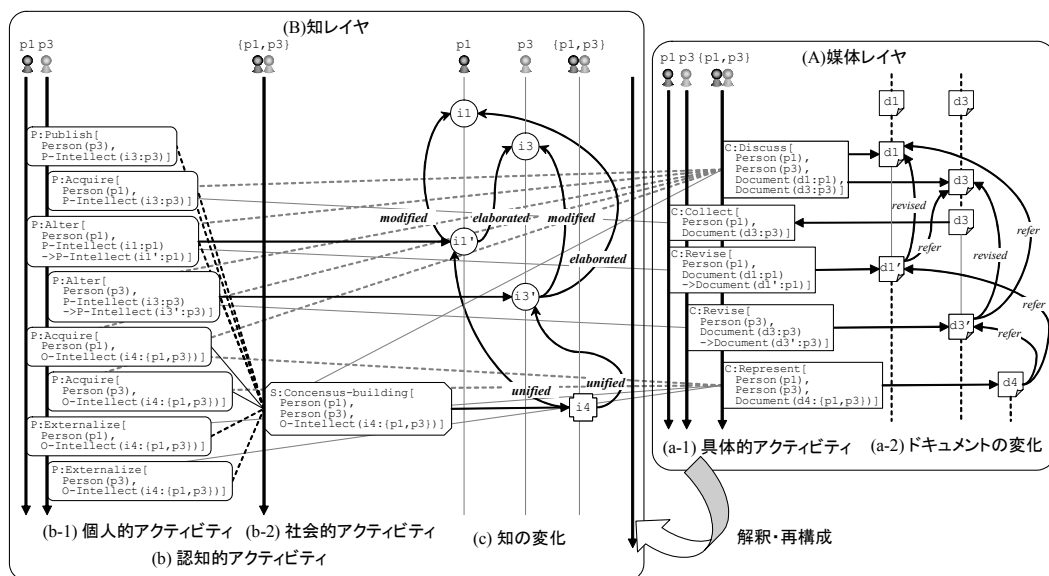


図2 知の系統グラフの形成過程

4. 組織知モデルに基づく知の創造・継承活動支援

ここまで述べてきた考えを具体化したシステムが *Kfarm* である。*Kfarm* はデュアルループモデルを参照モデルとして設計された分散システムであり、図3に示しているように K-field, K-ranch house, K-granary の3つのシステムから構成されている。支援の対象となるユーザの活動は、K プラクティショナによる個別作業・個別学習・共同作業・協調学習と、それらの活動の K プロデューサによる方向付けである。図左側の iDesigner は学習コンテンツデザイン支援環境で、知の継承を促進する学習コンテンツの作成を支援する。

K-field と K-ranch house はユーザが行う活動に対するセンサとその活動に必要な情報を提示するモニタの二つの役割を果たしている。一方、K-granary は K-field と K-ranch house で捉えられた各構成員の活動を解釈し、組織知として集積する。そして、その内容を K プラクティショナ、K プロデューサの次の活動を支援する情報として、K-field と K-ranch house を通じてその役割に応じて提供する。

4.1 K-field

K-field は K-granary に対して K プラクティショナの活動をモニタリングする役割と K プラクティショナにその活動に必要な情報を提供する役割を持っている。K-field によって K プラクティショナに提供される機能の一部を紹介する。これらの機能はすべて具体的アクティビティに基づいて設計している。

フォルダによるドキュメントの整理: フォルダにタームインデックを付けることによって、その意味を設定できる。フォルダに入れられたドキュメントにはフォルダと同じタームインデックスが設定される。*Kfarm* 内部では概念インデックスに変換される。

他者との交流活動: K プラクティショナ選択したフォルダ、ドキュメントに関連する他者や組織のドキュメントを概念インデックスの関連性、知の形成過程の観点から表示する。この情報によって、他者や組織のライブラリからのドキュメントの獲得や、ドキュメントを配布する際の配布先としてその内容に興味がある人の情報を提供する。

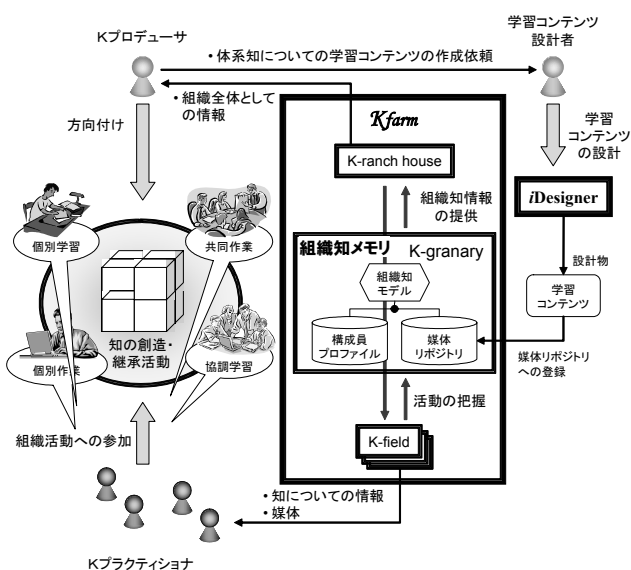


図3 *Kfarm* の概要

4.2 K-ranch house

K-ranch house では、K プロデューサが組織の状況を捉え、組織のビジョン・戦略に基づいてKプラクティショナの知の交流活動や協調学習をコーディネートすることを支援する。ここで K プロデューサの活動については、別稿[津本 02]で述べる。

図4は K-ranch house のインタフェースを示している。組織における知の創造・継承の兆候は図4(A)に示す launcher ウィンドウを通じて K プロデューサに通知される。図4(B)は具体的アクティビティに基づくドキュメントの交流を示しており、図4(C)は知の系統モデルを示している。各ノードは知を表しており、その間のリンクが知の間の関係を表している。ここでは図4(A-1)で共感性が高まっているドキュメントがあるということを K-producer に提示している。ここではあるドキュメントに対して、それを囲むようにアイコンで表示されている人が共感しているということを示している。(B)を通じてこれらの共感している各人の知についての情報を参照したり、(C)に示す系統グラフ上でその知の発生から、現在のような共感が得られている状態までの経緯を参照することによって、その知の内容を組織で認定し、そのドキュメントを組織ライブラリに加えるかを決定する。

ここでは、(C)で視覚化して表示している知の系統グラフについて詳しく説明する。(C)では、p3 の知(C-1)を中心に知の形成過程を示している。(C-2)から(C-1)への破線の矢印は elaborated を示している。これは p3 が更新したドキュメントに対して、元になった知(C-2)に関するドキュメントへの参照を設定し、(C-2)でのインデックスにいくつかインデックスを追加して設定したということを示している。また、(C-3)から(C-2)への破線の矢印は modified リンクを表している。これは、p1 と p2 が持つ(C-3)の二つの知から p3 が新たな知を生み出した可能性があることを表している。ドキュメントの内容に加えて、これらの繋がりの方が注目している知の新規性、有効性、妥当性、またその知に関する人やドキュメントの役割を判断するのに役立つ。例えば、今注目している(C-1)の知に対して、p1 が起点を生み出した人であるということや p1 や p2 が作成した(C-3)に関するドキュメントが基礎情報となることが考えられる。また、その新規性、有効性、妥当性を判断するためのグループを構成する際に現在(C-1)に注目しているメンバーだけではなく、知の履歴から、元になったと考えられる知を持っていた p2 も貢献できると考えられる。このようにして、K プロデューサが人や組織、ドキュメントと知の関係を整理し、組織知を体系化することを支援する。

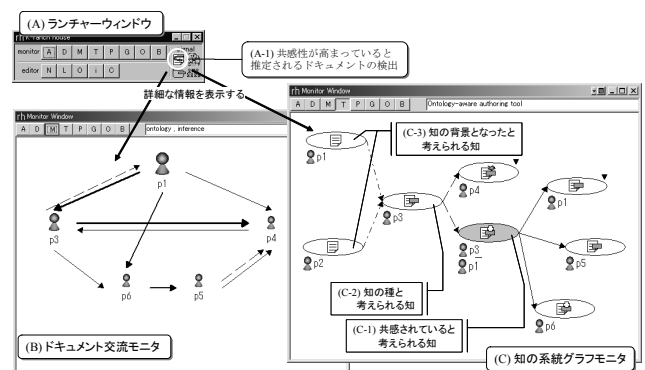


図4 K-ranch house

5. 科学知の体系化

知の創造・継承支援システムの基礎となるプロセスと内容のモデル化に関して、前節までにプロセスのモデル化と、それに基

づく組織知メモリの構成、支援システムの概要を紹介した。以下では、内容のモデル化に関する考察を進めたい。

科学知を体系化しようという様々な試みが多くの分野で様々なアプローチで進められている。ソフトウェア工学分野においては、SEEK(Software Engineering Education Knowledge)[CCSE 03], SWEBOK(Software Engineering Body of Knowledge)[SWECC 01]がよく知られている。前者は大学教育の視点から、後者は専門技術者の視点から、ソフトウェア工学分野の科学知の体系化を目指している。

科学知の体系化の必要性・重要性には比較的容易に共感が得られるにもかかわらず、作業を具体的に進める段階になると多くの疑問が寄せられるのが常である。「いつ完成するのか?」、「そもそも完成とはどういうことを言うのか?」、「労力は誰が提供するのか?」、「成果の客観性はどのようにして保証するのか?」、「科学技術の進歩にどう追従するのか?」、といった体系化の根本的意義に関わる疑問に悩ませられることになる。

SWEBOK の編纂プロセスにはパブリックコメントを求める仕組みが設定されており、そこでも多くの問題が指摘されているようである。以下は、SWEBOK 翻訳本の序論で監訳者の松本氏が紹介している CCSE(IEEE/ACM Computing Curricula 2001/Software Engineering Steering Committee)による問題提起と改善案からの抜粋である。

「SWEBOK は、ライフサイクルフェーズに依存して章立てが行われている。しかし、フェーズは、知識ではない(「知識」という語のもつ意味をもっと慎重に考えるべきである)。フェーズに基づいた章立てが行われているために、各章に書かれている内容が、同等の重きをもつものとの誤解を読者に与える欠点がある。訓練する立場からは、各フェーズの合理的なつながりに関する知識が求められる。このような章立ては、各フェーズ内の知識の連携が表明しにくい。もっと基礎的なレベルに降りて、章立てを考える必要があるしかし、そうはいつでも、どのような章立てがすべての視点を満たしえるか、に影響を与えうる決定的な要素分けが存在するわけではない。・・・」

後半で指摘されていることは、概念体系の構築作業で直面する問題の典型である。適切な視点からの概念の完全無欠な要素分けに、どうしたら到達できるかという問題である。それが解決する見込みなければ体系化作業は収束しないのではないかと懸念が込められている。

決定的な視点に基づいた完全無欠の要素分けがないのは自明である。ある重要な視点を捉えたとしても、それとは別のより重要な視点が見つかる可能性は常にある。完全無欠な体系があるかどうかを議論しても不毛であり、むしろ、それは無いとして、体系的知識に多角的な視点から柔軟にアクセスできるような手法を考えることが有意義であろう。

このような問題意識をもって、筆者らはオントロジー工学を基盤としたソフトウェア科学知マネジメント方法論の構築を目指す研究グループを立ち上げた。現在はまだ立ち上げ段階にあり、まとまった成果を生むには至っていないが、次章以降で本研究の目的と、その目的に向けた研究アプローチの概要をこれまでの考察を踏まえて紹介したい。ここではオントロジーに関して本研究に関連する範囲で概観し、それが本研究において果たす役割について考察する。

5.1 オントロジー工学とは

「オントロジー」は本来、哲学用語で「世界を構成する存在に関する体系的な理論」という、哲学分野の存在論という学問を表

す用語である。知識工学分野ではこれを「知識の構成概念に関する理論」という意味で用いている。

知識工学技術の呼称としてオントロジーという言葉を用いたことで、その技術が哲学の存在論のように難解で、現場に役立たないものであるという印象を与えているようである。このような誤解が生じたという意味で、あまり適当な言葉ではなかったかもしれないが、以下で説明するような「知識の構成概念に関する理論」を表すラベルとしては、オントロジーより適当な言葉が思い当たらないのも確かである。

知識工学的オントロジーが生まれた背景には、知識の共有と再利用という知識工学の重要課題があった。ルール、意味ネットワーク、フレーム、述語論理、といった知識表現技術の確立が進む一方で、(表現する前の)知識内容を整理する手法がなかなか成熟しなかった。他人が知識表現化した知識を、記述として「見る」ことはできても、知識内容を「理解する」ことが難しい。このことが、専門家から知識を獲得する上でも、知識ベースをメンテナンスする上でも大きな障害になっていた。この原因として考えられたのが共通理解の基礎となる概念体系の欠落であり、それを形成するためにオントロジー工学研究が推進された。

溝口はオントロジーが知識情報処理において果たす役割を以下の5つにまとめている[溝口 99]。(本研究では、このうち(2)と(3)の役割を重視することになる。)

- (1)暗黙情報の明示化: システムの挙動は様々な仮定・原理に基づいている。しかし、その仮定・原理に関する情報はモデル化に際して暗黙的にモデルに埋め込まれていることが多い。システムに関するオントロジー(構成概念の体系)は、そのような仮定・原理を明確にする。
- (2)共通語彙の提供: 対象とする世界を記述する際に必要とされる、厳密に定義された関係者の合意に基づく語彙を提供する。
- (3)知識体系化の基盤: 知識を体系化するには、厳密に定義された合意に基づく概念や語彙を用いて様々な現象、観測事象、興味ある対象を説明する理論が記述され、知識の組織化がなされる。オントロジーはこのような知識を体系化する際の拠り所となるバックボーンとしての役割を持つ。
- (4)標準化: オントロジーは標準概念の意味を規定するものとして標準化に貢献する。
- (5)メタモデル: オントロジーはある対象をモデル化するときに必要な概念とそれらの間に成立する関係を明示的に規定し、そのモデルはオントロジーが提供する概念と制約の下で作られる。この意味で、オントロジーはメタモデルとしての役割を担っているということができる。

この5つの役割を大雑把にまとめてイメージ化したものが図5

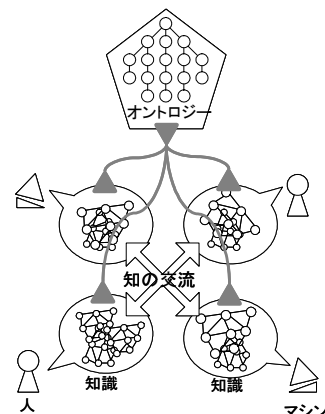


図5 オントロジーの役割

である。オントロジーは、人と人、人とマシン、マシンとマシンが知識を交流するための概念的基盤になる。

5.2 オントロジー:概念の分解と統合の理論

知識の構成に関する基礎理論としてのオントロジーは、概念間の関係性を明確にする役割がある。ここで、「プログラマ」という概念を例に考えてみよう。プログラマの概念構造の概略(「プログラマは、プログラミングに関する知識を備え、会社においてプログラミングという職務を担当し、プログラミング行為を遂行する人間である」)を図6に示している。さらに、図6中の下線のついた概念を階層化して整理したのが図7である。以下ではこの2つの図を出発点にして、前節で示した(2)共通語彙の提供と(3)知識体系化の基盤という、オントロジーの役割を説明する。

(2)共通語彙の提供:知識を表す語彙の共通化は、複数の知識利用主体が知識を共有する上で非常に重要である(図5)。同じ「こと」を異なった視点から見て異なる単語で指し示したり、同じ単語で異なるものを指し示すことがよくある。このような単語の意味の曖昧さが知識交流の際の混乱の原因になりがちである。例えば、「プログラマ」という単語は、抽象的な概念の職務を指す場合もあり、プログラミング行為を今まさにやっている人を指すこともある。また、その職務を担当する特定の個人を指す場合にも使われる。図6のような概念構造を基礎にして、各単語の意味が明らかな共通語彙を策定すれば、このような曖昧さを抑えることができる。

(3)知識体系化の基盤:知識体系化を困難なものにする要因として視点の多様性がある。完全無欠な体系を構成するため

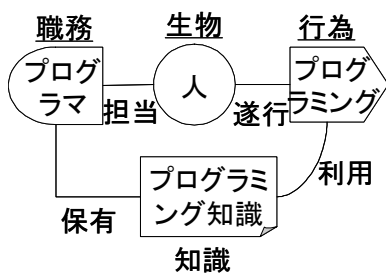


図6 プログラマの概念構造

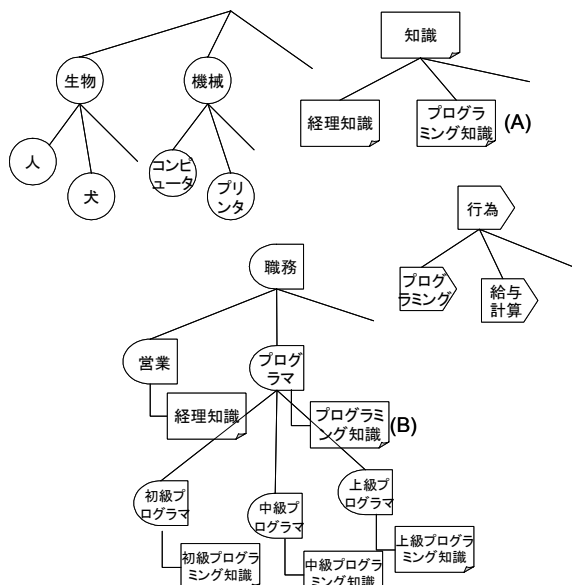


図7 プログラマに関連する概念体系

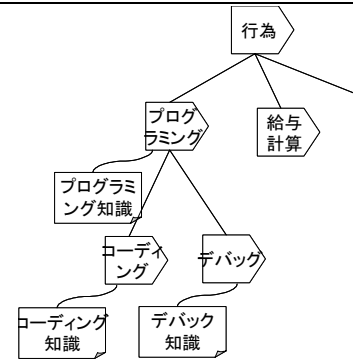


図8 プログラミング知識の分解

の決定的な視点が無い以上、多様な視点に対応できる柔軟な概念化手法が必要となる。

例えば、図7にある2つのプログラミング知識(A)と(B)を考えてみよう。(A)以下の概念体系では知識の特徴・対象の範囲など、知識としての本質的性質に基づいてプログラミング知識が分類・整理される。一方(B)はプログラマが保有している知識として位置づけられている。図7のようにプログラマが初級・中級・上級と区分されているとすれば、その区分に応じてプログラマが保有すべき知識が異なる。さらに図8のように、行為の遂行に必要な知識を考えると、行為の区分(例えば、コーディングとデバッグ)に応じて、必要な知識が異なるであろう。

この例は、知識の体系では、知識をあるひとつの「もの」として捉え、その本質的特長にもとづいて概念化(図7(A))する作業と、知識を特徴づける関連概念を概念化(図7(B),図8)する作業に分解し、最終的には、それぞれの作業結果を統合するというステップを踏むことで、多様な視点に柔軟に対応できる知識体系を構築できることを示唆している。¹

以下では、二つの概念化への分解と統合の典型例として、タスクオントロジーとドメインオントロジーという考え方を説明する。

知識工学分野では、タスク(仕事)・ドメイン(対象世界)の分解・統合の手法がよく用いられる。図9は、この考え方の基本を説明している。我々が持っている知識には、特に意識して分解していない限り「自動車(ドメイン)を診断する(タスク)知識」というようにタスクとドメインが密に結合している知識(タスク・ドメイン知識)であることが多い。タスク・ドメイン知識は、直面している問題に直接利用できる「使いやすい」知識である。しかし一方で、結合したままのタスク・ドメイン知識では、タスク知識とドメイン知識のそれぞれの本質が見失なわれがちである。例えば、「最初に、

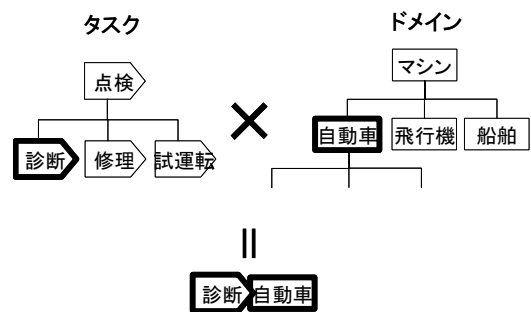


図9 タスクとドメイン

¹ このような概念化の2つのアプローチを、小山は「もの」としての概念化と、「こと」における概念化と呼んで興味深い説明を与えている [小山00]

排気ガスのおいから、エンジンの燃焼系が正常かどうか判断する」というタスク・ドメイン知識には、「原因仮説を最も効果的に絞り込む兆候を最初に確認する」というタスク知識が埋没してしまっている。タスクとドメインに知識を分解して整理することによって

- タスク・ドメインそれぞれの知識の本質が見いだしやすいくなる
- タスク知識の再利用性が高まる(図8において診断タスク知識は、様々なマシンの診断に応用できる)

というメリットがある。また、結合する段階において、

- ドメイン知識をタスクに特化する専門家の視点が明らかになる。(例えば、診断の専門家は兆候と原因の因果関係に関するドメイン知識を重視し、修理の専門家は分解・組み立てのためのマシンの構造に関するドメイン知識を重視する)。

問題解決の概念をタスクとドメインという2つの視点で分解して体系化し、必要に応じて結合して利用するという考え方は知識の共有・再利用を考えるうえで、非常に重要な考え方である SWEBOK に載っている知識はソフトウェア工学のタスク知識である(ドメイン知識はソフトウェアが対象とする世界の知識である)ため、ここでの議論を直接的に SWEBOK の分析の議論へと展開することはできない。しかし、知識を複数の観点に分解し、必要に応じて結合して用いるという考え方は、ソフトウェア科学の体系の構築に重要な示唆を与えてくれる。次節では、ここでの議論を踏まえて、本研究の狙いにより踏み込んで議論する。

6. 科学知オントロジー: SWEBOK の分析

5.で紹介した SWEBOK に対して提起された問題の一部を再掲する

「SWEBOK は、ライフサイクルフェーズに依存して章立てが行われている。・・・フェーズに基づいた章立てが行われているために、各章に書かれている内容が、同等の重きをもつものとの誤解を読者に与える欠点がある。訓練する立場からは、各フェーズの合理的なつながりに関する知識が求められる。」

これは、SWEBOK においてはライフサイクルフェーズという視点に沿って知識が整理されているため、基礎知識の体系が断片化されているという指摘である。さらに、フェーズのつながりも、章立てによって断片化され、分かりにくくなっているという問題も指摘されている。

問題提起と一緒に示されている改善案は、ソフトウェア工学の基礎的な知識を最初にまとめ、それを参照しながら、フェーズの目的・フェーズ間の連携関係に沿って体系的に説明する構成となっている。

この提案には改善の可能性が認められるが、書籍という線形構造を基本にしたメディアでの工夫には限界があり、提示された問題を克服することは基本的に難しいように思われる。

図10: SWEBOK の知識記述の基本構成この点で、オントロジーを基礎にした知識表現メディアはより高いポテンシャルを持っている。このことを確認する目的で、SWEBOK の第4章(ソフトウェア構築)の構成をオントロジー工学的に分析し、知識メディアとして再構成を試みた。ここでは、その結果を紹介する。

6.1 SWEBOK の第4章

SWEBOK の章構成はソフトウェア工学の内容を階層的に特徴づける構成になっており、第一レイヤが章(図10)に相当する。各章は図11 SWEBOK より引用)に示されるように、2~3段のトピック階層で構成され、各トピックの記述とトピックに関連する参

- ソフトウェア要求
- ソフトウェア設計
- ソフトウェア構築
- ソフトウェアテスト
- ソフトウェア保守
- ソフトウェア構成管理
- ソフトウェアエンジニアリング・マネジメント
- ソフトウェアエンジニアリング・プロセス
- ソフトウェアエンジニアリングのためのツールおよび手法
- ソフトウェア品質

図10 SWEBOK の章構成

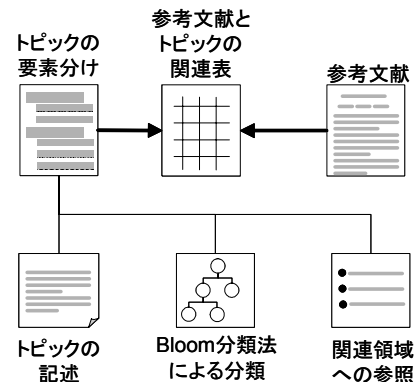


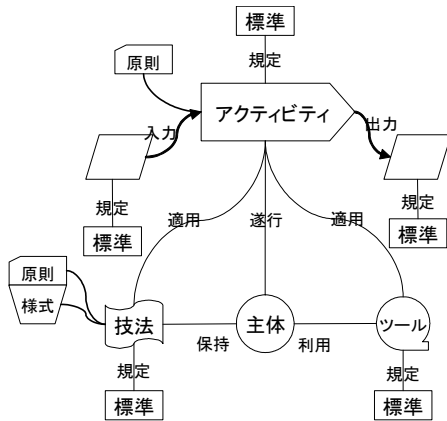
図11 SWEBOK の知識記述の基本構成

考文献、関連分野(認知科学、数学など)への参照からなる。さらに、各トピックに対して Bloom 分類法に準じて、大学卒業後4年後の実務者が習得すべき知識レベルが設定されている。

第4章は、他の章と較べるとタスク概念の設定が適切になされている。図12に第4章から抽出したソフトウェア工学のアクティビティ概念の基本構成を示している。「主体がアクティビティを遂行するとき、作業上の原則・様式を特定し、それに基づいて技法・ツールを選択して利用して入力から出力を生み出す」ことが図式化されている。図13にはその基本図式に沿った「ソフトウェア構築」アクティビティに関する概念を示している。概念からの吹き出しは、説明(概念定義)や役割(概念がソフトウェア構築において果たす役割)の記述がなされている節番号を示している。図14にはソフトウェア構築アクティビティに関する原則・様式のバリエーションを is-a 関係であらわしている。これらのバリエーションから、原則・様式を選択し図13の原則・様式の枠に当てはめる(ソフトウェア構築アクティビティの詳細化)と、それを基準として妥当な技法とツールの選択肢を絞り込むことができる。図15は原則が「複雑さの減少」・様式が「言語的」である場合に妥当な技法の集合(ソフトウェアテンプレートなど)と文献の集合([BEN00]など)を示している。図15の意味を書き下すと、「ソフトウェア自体あるいはその作成過程の複雑さを減少するうえで言語的に有効な技法としては、ソフトウェアテンプレート、カプセル化あるいはデータ抽象、・・・といったものが考えられる」となる。

このように SWEBOK 4章の分析からは、ソフトウェア構築アクティビティに有用な知識が、原則・様式を基準として選択する図式が抽出された。この分析によって明らかになったことをまとめると以下ようになる。

- 図12の基本概念構造がソフトウェア構築のための知識を整理するための土台になっている。
- 図13の図式の構成概念を適切な概念に詳細化することが、ソフトウェア構築に関する知識を整理する視点を与えている。



アクティビティは入力から出力を生成する。主体は技法に基づいてツールを用いてアクティビティを遂行する。技法はソフトウェア工学の原則（複雑さの抑制・多様性への対応・妥当性確認の組み込み・外部標準の利用）と様式（言語的・形式的・視覚的）によって特徴づけられる。

図12 SWEBOK4章から抽出した基本概念

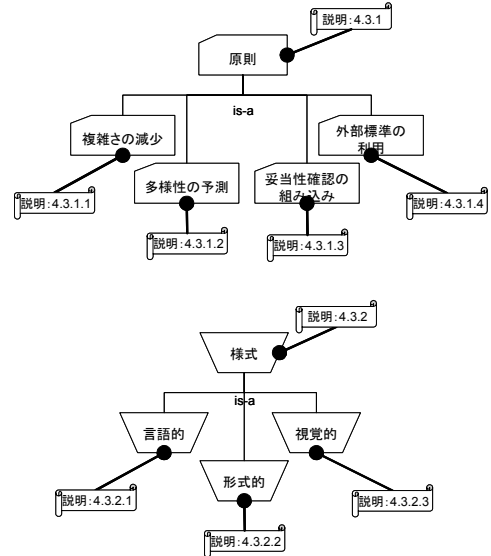


図14 原則と様式

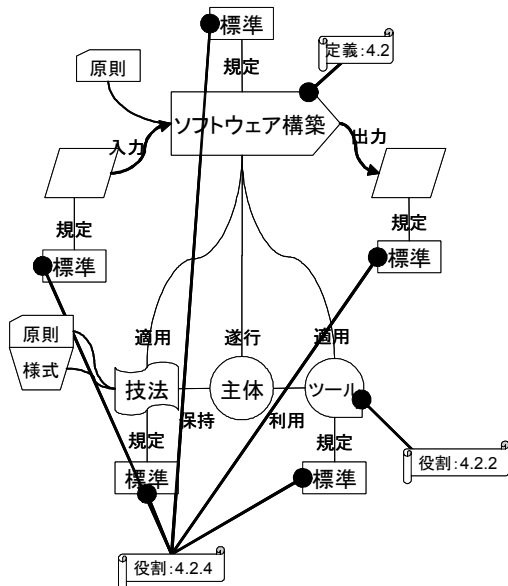


図13 SWEBOK4章の内容

- 図14の原則と様式が図15に示されるように技法を特徴づけている。
- ソフトウェア構築が他のアクティビティとどう連携し、その連携において、知識がどのような働きをするのかが、SWEBOK においては概念的に明確に説明されていない。
- 概念的 analysis を行うと、文章を読んでいる段階では気づかなかった用語設定の不適切さが顕在化する。
- 原則・様式概念体系(図13)の整理が粗く、技法やツールを体系化するうえで十分な分解能をもっていない。
- 参考文献の粒度の設定に合理性と一貫性が欠けている。

7. ソフトウェア科学知マネジメント

ここでは、前章での分析結果を踏まえ、ソフトウェア科学知マネジメント方法論の確立にむけて議論を深めたい。

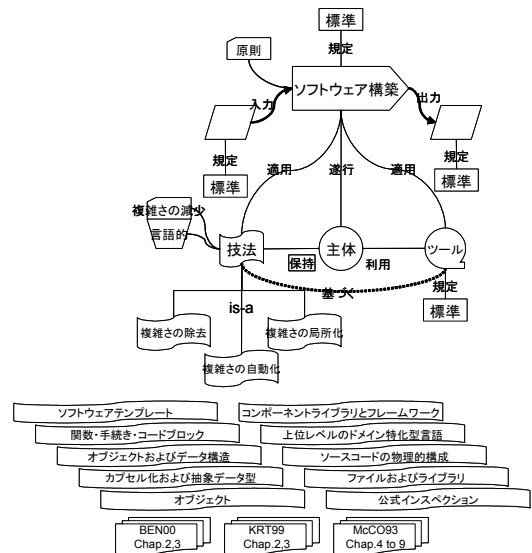


図15 原則：複雑さの減少＋様式：言語的

SWEBOK(特に2章～6章)ではウォーターフォール型のプロセスモデルを章構成の基本において知識を編成している。このため、ソフトウェアエンジニアリング・サブプロセス間の連携の原理が硬直的にまとめられている。また、章の独立性が高すぎて、プロセス間連携のための知識が十分に説明されていない。CCSEの問題提起もここに向けられていると考えられる。我々は、概念の分割・統合の手法でこの問題を克服することにより、多様な視点からの柔軟なソフトウェア科学知マネジメントの実現に貢献すると考えている。

7.1 基礎概念・アクティビティ概念・プロセス概念

本研究におけるソフトウェア科学知体系化の基本的な考え方を図16に示している。分割と統合の概念階層は、基礎概念・アクティビティ概念・プロセス概念の3階層としている。

基礎概念レイヤでは、ソフトウェア科学の基礎理論・技法を体系化する。図15において最下層に位置づけた、ソフトウェアテンプレート、カプセル化あるいはデータ抽象、・・・といった基本技法がこれにあたる。アクティビティ概念レイヤでは、ソフトウェア要

求・設計・構築・テスト・保守などの、基本アクティビティ概念を体系化する。図12の基本図式に沿って抽出したソフトウェア構築アクティビティの概念定義(図15)が、このレイヤで整理される。最上位のプロセス概念では、Water Fall(WF), Unified Process(UP), eXtream Program-ming(XP)などの、ソフトウェア開発プロセス概念を整理する。プロセス概念は、その下層のアクテ

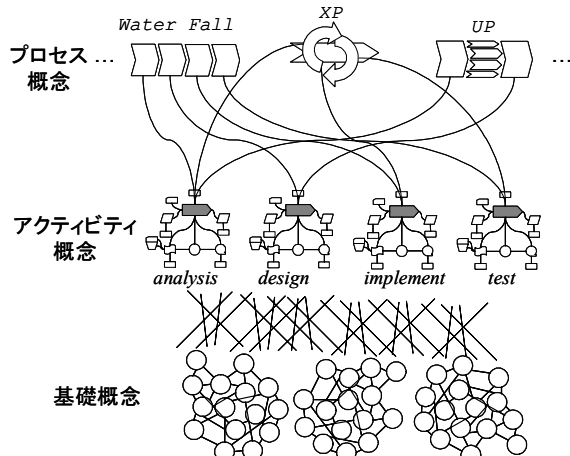


図16 ソフトウェア科学知オントロジー

ィビティの組み合わせ方を規定する概念ということができる。

隣接した2つのレイヤの概念を統合・整理して、相対的に下位レイヤの概念を上位レイヤの概念の文脈で体系化することができる。アクティビティ間の連携に関する知識は、プロセス概念とアクティビティ(サブプロセス)概念を結合する段階で体系化することになる。

また、各レイヤに置かれる概念体系は固定的ではない。例えば新しいプロセスが開発された場合には、アクティビティレイヤの概念を組み合わせることによってプロセスレイヤにプロセスの定義を追加することができる。このように、多レイヤの概念体系を構成し、レイヤ間の概念結合により新しい概念を作り出すしくみは、ソフトウェア科学知のライフサイクルマネジメントの基礎になる。

筆者らは、さらに、開発プロセスのマネジメントモデルをこの上位のレイヤに位置づける必要があると考えており、ソフトウェア開発プロセスモデルの上でソフトウェア開発技術者の役割を概念化し、その役割間のコミュニケーション様式のモデル化を進めている[Aye 04]。

7.2 ソフトウェア科学知マネジメント支援

図17は、本研究で目標としているソフトウェア科学知マネジメント支援の全体像を示している。研究者(R), 学習者(L), 実践者(P, エンジニア)の3種類のロールを想定している。図中では、説明の便宜上、左側に研究者、上部に学習者、右側に実践者と、3つのロールを明確に区別して配置している。一般には、ソフトウェア科学の実践・学習・研究は不可分であるため、ユーザは3つのロールを複合(R&L&P)して担うと考えるのが現実的になっている。

学習者(L)は、主体的学習支援のための学習管理システム[Abe 03]や WBT(Web-Based Training システム)を利用し、実践活動と並行してソフトウェア科学知の学習を進める。ここで利用する教材は、インストラクショナルデザインオントロジーとソフトウェア科学知オントロジーを参照しながら学習コンテンツデザインを支援する環境 iDesigner[林 03]で作成される。特に、新たに創造された知識の教育・普及は組織知ライフサイクルを支える重

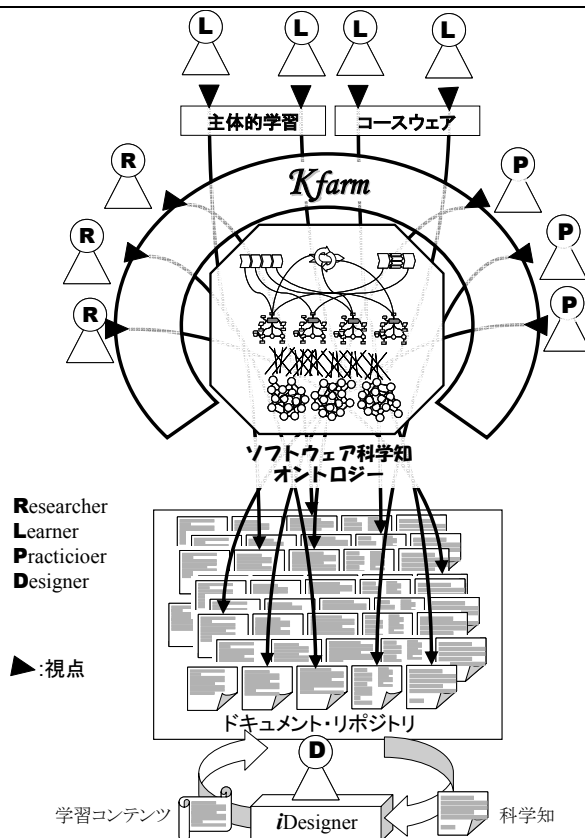


図17 ソフトウェア科学知マネジメント

要な活動であり、速やかに質の良い学習コンテンツを作成することが求められる。

実践者(P)は、ソフトウェア開発を実践する。実践者の視点で特に重視されることは、開発方法論の選択基準である。開発対象の重要度と難易度、コスト、価値、時間資源の利用法(納期、イベント)、成果物の品質といった要因を見極め、開発プロジェクトの状況に合致した方法論を選択することが求められる。4.1で述べたように、SWEBOK4章(ソフトウェア構築)においては、技法を特徴づける概念として原則・様式があげられているが、実践場面で重視される要因を取り込むことができていないように思われる。本研究では、実践の場面で使われている基準を、実践者によるナレッジマネジメント活動を通じて体系に反映させる手法を考察したいと考えている[落水 04]。

研究者(R)は実践者の活動に加えて、創造・蓄積されたソフトウェア科学知のライフサイクル管理という重要な役割を担う。様々な方法論・手法の差異を分析し、技術のTPOを明らかにし、知の創造・洗練・淘汰・普及を適切に導く役割を担う。

このようなソフトウェア科学知の創造・蓄積・流通・継承活動を支援するナレッジマネジメント環境が Kfarm[Hayashi 03]である。詳細は割愛するが、Kfarmはユーザの個別活動・協調活動(実践&学習)をシームレスに連携させ、野中氏のSECI理論[Nonaka 95]に準じながら、知のスパイラル成長を促すように設計されている。

8. おわりに

本稿では、デュアルループモデルとオントロジーに基づいた知の創造・継承支援環境 Kfarmとそこで構築される組織知の形成過程を捉えた知のシステムモデルを提案した。Kfarm上で捉えられた媒体に関する活動から知に関する活動を解釈・再構成することによって、行為の間の関係や対象となった知、各Kプラクテ

イシヨナが果たした役割を明らかにし、知の形成過程を明らかにする。この情報が、組織の現状を捉え今後の方針を決定する際や、その後の交流活動の際の各人に対する役割設定を支援するための基礎情報となる。

さらに、オントロジー工学を基礎にした、ソフトウェア科学知マネジメント手法について考察した。今後は要素技術を確立しながら、5章で示した枠組みの実現を着実に進めていく。

また、IT スキルスタンダード[経済産業省 03]の能力概念を基準とした、実践の中でのソフトウェア開発能力育成支援技術の開発、プロジェクトマネジメント知識体系(PMBOK) [PMBOK 00]との関係の整理なども、興味深い研究課題である。

さらに、本研究での経験を汎化し、科学知マネジメント方法論へと昇華させることも併せて検討する予定である。

謝辞: 本研究に関して日頃一緒に議論している、ソフトウェア工学オントロジー研究チームの北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 Saw Sanda Aye 氏, 同知識科学研究科 朱霊宝氏に感謝します。

参考文献

- [Abe 03] Abe, H., Hasegawa, S., and Ochimizu, K.: A Learning Management System with Navigation Supports, *Proc. of International Conference on Computers in Education 2003 (ICCE2003)*, pp. 509-513, 2003.
- [Aye 04] Aye, S. S., Zhou, Y., Ochimizu, K.: Process Model Combining the Artifact Centered Process with Communication Path, *ProSim 2004*, (accepted), 2004.
- [CCSE 04] The Joint Task Force on Computing Curricula IEEE Computer Society Association for Computing Machinery: *Computing Curriculum - Software Engineering(CCSE)*, <http://sites.computer.org/ccse/>, 2004.
- [Nonaka 95] Nonaka, I., and Takeuchi, H.: *The Knowledge-Creating company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, Oxford University Press, 1995. (梅本 勝博 訳: *知識創造企業*, 東洋経済新聞社, 1996.)
- [Hayashi 02] Hayashi Y., Tsumoto H., Ikeda M., and Mizoguchi R.: “An Intellectual Genealogy Graph ~Affording a Fine Prospect of Organizational Learning~”, *Proc. of ITS'2002*, (to appear), 2002.
- [林 01] 林雄介, 津本 紘亨, 池田満, 溝口理一郎: 『学習する組織』実現に向けた学習コンテンツの体系化と利用の枠組み～オントロジーに基づくナレッジマネジメント支援へ向けて, 人工知能学会研究会資料 SIG-IES-A003, pp.43-50, 2001.
- [林 03] 林雄介, 山崎龍太郎, 池田満, 溝口理一郎: “オントロジーウェアな学習コンテンツ設計環境”, *情報処理学会論文誌*, Vol. 44, No.1, pp. 195-208, 2003.
- [Hayashi 03] Hayashi, Y., Tsumoto, H., Ikeda, M., and Mizoguchi, R.: “*Kfarm*: An Ontology-aware Support Environment for Learning-Oriented Knowledge Management”, *教育システム情報学会英文論文誌*, Vol. 1, No.1, pp. 80-89, 2003.
- [池田 02] 池田満, 林雄介, 津本紘亨, 溝口理一郎: “組織学習支援のための組織知メモリと支援環境の構成”, *電子情報通信学会技術研究報*, ET2002-56, pp.69-74, 2002.
- [経済産業省 03] 経済産業省: *ITスキル標準-ITサービス・ソフトウェアエンジニアリング基礎知識体系-SWEBOK-*, オーム社, 2003.)
- [津本 02] 津本 紘亨, 林雄介, 武内雅宇, 池田満, 溝口理一郎: “組織知創造・継承のための協調学習設計支援環境の構築”, 人工知能学会全国大会(第 16 回)論文集, 2C3-04, 2002.
- http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/jinzai.htm, 2003.
- [小山 00] 小山 昭夫: *知識モデリング*, 丸善, 2000.
- [溝口 98] 溝口理一郎: “オントロジー工学の試み”, 人工知能学会全国大会(第 12 回), AI-L3, pp.24-31, 1998.
- [溝口 99] 溝口理一郎: “オントロジー研究の基礎と応用”, *人工知能学科論文誌*, Vol. 14, pp.977-988, 1999.
- [落水 04] 落水浩一郎: “ソフトウェア開発方法論とソフトウェアパターン”, *情報処理学会シンポジウムシリーズ IPSJ Symposium Series Vol. 2004, No.4*, pp 65-66, 2004.
- [PMBOK 00] Project Management Institute: *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) 2000 Edition*, Project Management Inst Pubns, 2000.
- [SWECC 01] IEEE Computer Society Software Engineering Coordinating Committee (SWECC): *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge Stone Man Trial Version 1.00*, <http://www.swebok.org>, 2001. (松本吉弘監訳: *ソフトウェアエンジニアリング基礎知識体系-SWEBOK-*, オーム社, 2003.)