

SECIモデルおよびオントロジー工学技術の適用による 環境対応のナレッジマネジメントモデルの考察

松井 孝典¹・津田 智行²・森長 誠³

¹正会員 博士(工学) 大阪大学大学院 特任助教 工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:matsui@sec.eng.osaka-u.ac.jp

²修士(工学) 大阪大学大学院 工学研究科(同上)

³博士(工学) 防衛施設周辺整備協会 (〒105-0014 東京都港区芝3-41-8)
E-mail: morinaga@dfcia.or.jp

種々の主体の共考により人間環境共生系の中で生み出される知恵の循環を行うことは、サステイナブルな共生系の姿を描き出し、環境と社会と人との関係性を再構築する上で極めて重要な意味を持つ。そこで本研究では、共生の知恵の解釈と創生を支援する環境対応のナレッジマネジメントモデルの構築に関する構成論的なパイロットスタディを行った。ここでは知識循環のメタモデルであるSECIプロセスに従って、①社会で共考により暗黙的に内面化されている環境対応のための知識をオントロジー工学的アプローチにより表出化し、②表出化された知識を用いてアセスメント、マネジメントの視点から環境対応に関わる既存知識と連結化させ、④生み出された知識体系を社会に内面化させるための課題を考察した。最後に本研究で得た課題を整理し、サステイナビリティ学の知識構造化におけるオントロジー構築の指針を提案した。

Key Words : knowledge management, SECI process, ontology engineering, human-environment system, sustainability science

1. 環境対応の知識創生と本研究の構造

(1) 環境対応の知識創生

現在、世界的にサステイナビリティ(sustainability)研究が展開されており、今や人間環境共生系全体の持続可能性の維持は人類の課題となっている。環境研究が現象やマテリアルの「インパクト属性」のみを対象としていた時代から、予防的・未然対応的に働きかけを行うために「確率属性」を入れたリスクサイエンスへ発展した史実を見た場合、今後は持続可能性への影響という「時間属性」を加えたサステイナビリティサイエンスへの進展が要請されることになるだろう。このような情勢の下、現在、大阪大学で拠点形成が進められるサステイナビリティサイエンス研究機構(RISS)¹⁾ではサステイナビリティ学のモデル構築が進められている。ここでは、(1)人間の安全保障と人間能力開発という文脈の下で対象とする共生システムの上位構造として、①経済・政治制度・産業構造・技術体系を含む「社会システム」、②資源・エネルギー・エコシステムを含む「環境システム」、③ライフスタイルや文化・価値観・健康などを含む「人間システム」を人間環境共生系を構

成する3つのモジュールとして定め、この共生システムに対する人間側からの働きかけを(2)将来シナリオの構築、(3)制度設計、(4)サステイナビリティ評価といった共生システムのデザインや、(5)エコ・プロセス、(6)エコ・エネルギー、(7)エコ・デザインと定め、共生技術として研究開発を進めている。さらにここでの経験から生み出されるサステイナビリティのための知恵を循環させることが新たな共生システムの構築に向けた共考を導く上で極めて大きな役割を持つことから(8)共生の知恵の解釈と創生に向けた活動として、サステイナビリティ学の知識構造化を展開している。

そこで、本研究ではサステイナビリティのための共生の知恵の解釈と創生および知識構造化を支援するべく、環境対応のための知識構造化とナレッジマネジメントフレームワークの構築にむけた構成論的アプローチによるパイロットスタディを行う。特に、サステイナビリティ学の知識構造化研究の枠組みにおける本研究の位置付けは、平行して進められている俯瞰的な視点から人間環境共生系全体を知識構造化するトップダウン的なアプローチ^{2),3)}に対して、個別領域の知識を汎化させて構造化を試みるボトムアップ型アプローチとなる。

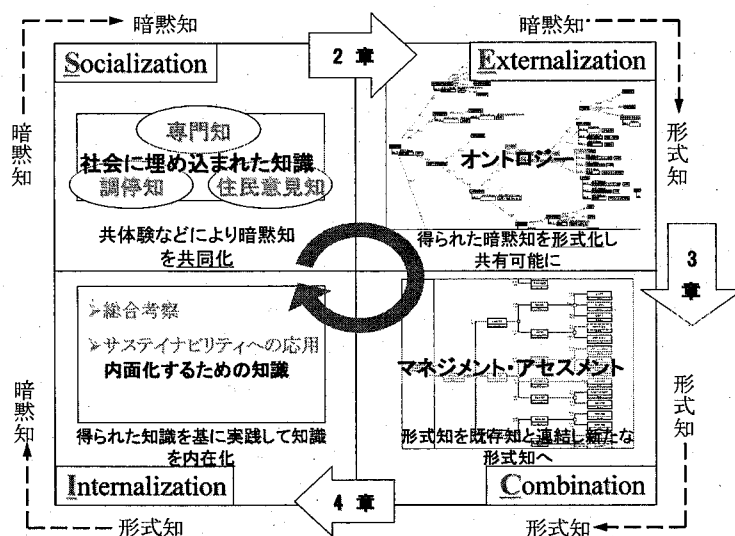


図-1 SECI モデルと本研究の構造

(2) 本研究の構造

本研究の構造は、知識の継承・創生モデルとして野中らにより提案される「SECI プロセス」⁴⁾を骨格としている。SECI プロセスとは、①共働・共考により暗黙知を共同化（Socialization）し、②得られた暗黙知を共有できるように形式知として表出化（Externalization）させ、③得られた形式知を構造化された知の体系と連結化（Combination）し、④明示化された形式知を体得する内面化（Internalization）というサイクルから構成されており、理想的な組織知の創造・継承活動を導くものとしての基礎を与えるものである⁵⁾。

本稿ではこの SECI プロセスを環境対応のための知識創造に応用するための考察を行う（図-1）。本稿は以下、①共働・共考により社会で共同化されている環境対応の暗黙知を共有できるように形式知として表出化するステージ（2 章）、②表出化された環境対応の知識を既存の知識体系と連結するステージ（3 章）、③連結化した知識を社会実装するために内面化するステージ（4 章）の 3 つのコンポーネントから構成される。なお、本研究はフレームワーク構築を主目的としたパイロットスタディであるため、データ入手の容易性等から「音環境領域知識」という限定的な領域の知識を対象としているが、環境システム論的に考えた場合には環境問題は領域依存しないメタレベルでの構造的な類似性があるという観点から、リスクサイエンスやサステナビリティサイエンスの視点から汎用的な考察を試みる。

2. 知識の共同化から表出化

(1) オントロジー工学技術による知識の表出化

本章では社会に内包された種々の知識を形式的に明示化することで表出化するステージを示す。近年では知識の膨張化・細分化を背景に、各所で知識の構造化の必要性が指摘されている^{6),7)}。環境対応の知を構造化して明示することは、環境と共生するための基盤知識を種々の主体が共有することを支援する意味で意義が大きい。本研究では、知識モデリングの方略として知識工学領域で発展しているオントロジー工学技術を採用している。

「オントロジー」とは本来的には哲学用語であり、「存在に関する体系的な理論（存在論）」という意味を持つ。これを基にオントロジー工学的には「概念化（対象とする世界に存在すると考える概念とそれらの間の関係）の明示的な規約」という定義を与えて⁸⁾、対象とする世界を構成する概念要素の一般-特殊関係、全体-部分関係などをモデル化する方略として基礎理論⁹⁾や構築の方法論¹⁰⁾が開発されている。人間環境共生系は、現象としての自然科学の対象領域から文化・歴史・哲学・倫理といった人文社会科学の対象領域をも含む巨大な概念体系から構成されているため、オントロジー工学的なアプローチによって共生系の世界の本質部分をモデル化して明示することで「環境対応の知識を扱うためのメタ知識」として知識共有および創生を支援することが期待される。世界的にも様々な領域において積極的にオントロジー開発が進められており¹¹⁾、環境学研究領域でも既にオントロジーを用いた概念の構造化の取り組みが行われている¹²⁾。海外では、種々のオントロジーの検索エンジンである Swoogle¹³⁾が構築されて 10,000 件以上のオントロジーが登録されている。

b) オントロジー構築の方針

次に a) の分析で抽出された概念を基に、オントロジー工学的な構築論により概念の一般-特殊関係(is-a 関係)および全体-部分関係(part-of 関係)等を考察してオントロジーを構築した(図-2右)。

ここで、オントロジーの性質について light-weight オントロジーと heavy-weight オントロジーの2つに分類する視点が整理されている^{18),19)}。light-weight オントロジーとは情報の効率的な記述と有効利用を重視する立場であり、web 検索エンジンが持つ階層構造などに見られる。一方の heavy-weight オントロジーとは哲学的な考察を最重視する立場であり、概念間の関係のセマンティクスを厳密に定義して知識ベースの骨格、知識の共有・再利用性を高める基盤知識としてのオントロジー構築をめざすものである。この違いは優劣を意味するものではなく、オントロジーの利用用途に応じて選択されるものである。また構築方法論には、専門家のブレインストーミングによる構築から、自然言語処理・機械学習技術などの計算機技術を用いるもの、既存のオントロジーを再利用して構築する手法など様々に提案されている。

本研究で構築するオントロジーは学術利用を目的としているため、基盤知識として機能しうる heavy-weight オントロジーを志向したものとなる。またオントロジー構造化の方法については、世界の存在を共通的に記述するための最も一般的かつ抽象的なオントロジーである上位オントロジー²⁰⁾を議論の出発点として、a) で示した計

算機的自動処理で表出化された概念群を利用としながら、既存の文献群、専門家の持つ領域知識を利用して is-a 関係・part-of 関係の構造化を行うという複合的な構築方を採用した。なおオントロジーの実装には heavy-weight オントロジーの構築に適しているオントロジーエディタ「法造」²¹⁾を用いている。

(3) 構築されたオントロジー

図-3 および図-4 には構築されたオントロジーの全体像を示した。表出化されたオントロジーは(2)の a) で示した「問題要因」および「解決タスク要因」の2つのコンテキストに関連するオントロジーが示されている。一方は人間環境共生系を構成する要素の概念の継承関係を構造化したオントロジーであり(図-3)、系を構成する人間系や環境系、その系のインターフェイスに存在する「種類」、「属性」、「機能」、「状態」等のプロパティの概念を階層化したものである。本論ではこのオントロジーを人間環境共生系に存在するもの・ことに関する「共生系ドメインオントロジー」と呼ぶ。もう一方のオントロジーは、人間環境共生系に対する人間側からの働きかけを階層化したオントロジーであり、これは先述した共生系に存在する要素の「種類」・「属性」等を、共生のために望ましい「機能」を持つ「状態」にすることを達成するためのタスク概念の体系を示している(図-4)。これは在るべき環境系を目指して人間が環境に能動的に働きかけて共生関係を構築するためタスクや

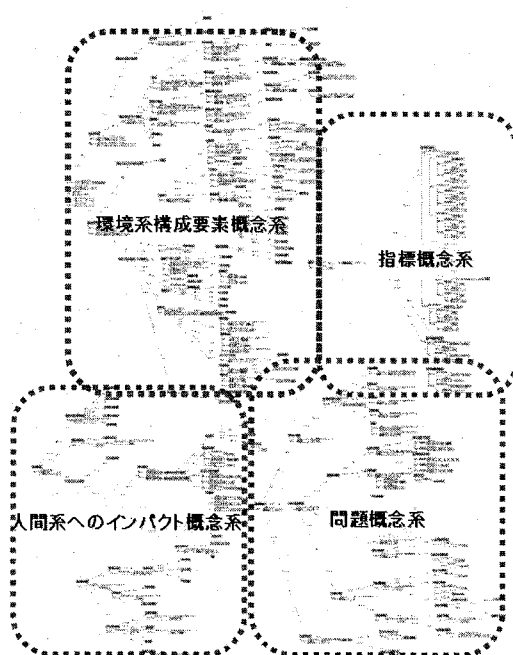


図-3 共生系ドメインオントロジー

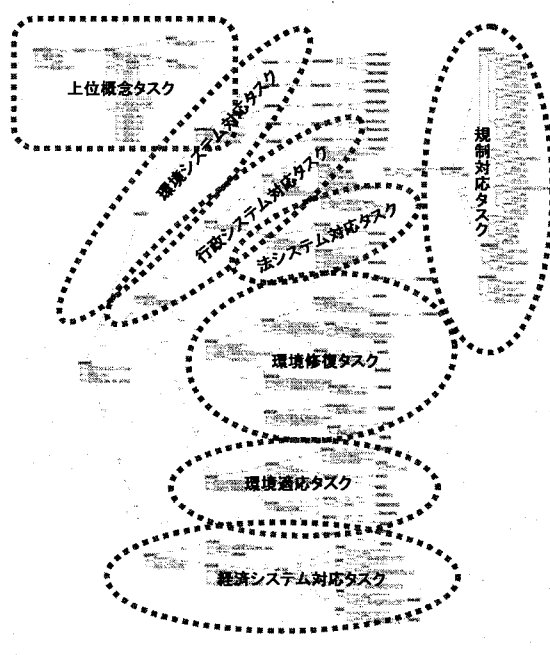


図-4 共生タスクオントロジー

表-1 オントロジーの第3階層までの概要

オントロジー名	サブオントロジー名	第1階層	第2階層	第3階層	最大階層数
共生系ドメインオントロジー	環境系構成要素概念	音源	産出目的音	自然系産出目的音	5階層
				人工系産出目的音	8階層
			産出プロセス音	自然系産出プロセス音	4階層
				人工系産出プロセス音	6階層
	問題概念系	騒音問題	環境系被害	他環境系複合問題	4階層
			人間・社会系被害	社会的問題・物理的問題・人間的問題	5階層
			経済系被害	対策費不足	4階層
			他環境系複合被害	各種環境被害	3階層
	人間系へのインパクト	騒音被害	環境系被害	生態系変化	3階層
			人間・社会系被害	社会系被害・人間系被害	6階層
			経済系被害	物理的被害・経営被害・直接金銭被害	5階層
	指標概念系	基準	環境基準	騒音環境基準	4階層
共生タスクオントロジー	環境対応タスク	持続可能	管理	適応・低減	11階層

技術の体系を知識構造化したものであり、ここではこのオントロジーを「共生タスクオントロジー」と呼ぶ。紙面の都合上、表-1にはオントロジーの第3階層までの概念の一覧と最大階層数のみ示している。図-3、図-4および表-1の各オントロジーは、左から右に概念的な一般-特殊関係（is-a 関係）、各ノードから縦方向に全体-部分関係（part-of 関係）等が表現されている。なお図中のサブオントロジーは一般-特殊関係としては独立しており、相対的な位置関係は意味を持たない。

a) 共生系ドメインオントロジー

図-3にある共生系ドメインオントロジーとは「人間環境共生系内に存在する構成要素の存在と状態の体系化」を意味している。ここでは、is-a 関係から構成される4つのサブオントロジーが抽出されている。それぞれ「①環境側を構成する要素（図-3 左上）」、人間系とのインターフェイスで生じている「②問題（図-3 右下）」と「③その影響（図-3 左下）」の概念構造、およびその影響を評価するための「④評価指標（図-3 右上）」を意味している。今回分析に用いたデータセットは人間-音環境領域に限定されているため限られた議論となるが、①では音環境問題に関連する環境側の構成要素のフレーミングを可能とし、その要素が目的生産物か副産物か、または自然物か人工物かなど要素が持つ属性を明示している。また②と③では問題とその被害が人間社会的、経済的あるいは環境的な問題と被害なのかを分類しており、修復すべき環境や適応すべき環境などの理解を支援するものとなっている。④では、これらの状態や問題や被害を表す要素に対してどのような属性の評価がなされているのかを抽出している。このように対象領域の構成要素をオントロジー言語の持つ体系的な表現力で明示することは、共生系の概念の広がりを見視化させ、対象領域の体系的な理解と新たな着眼点の模索を支援する上で有効であると考えられる。

b) 共生タスクオントロジー

図-4には、人間が主体となり環境側へ働きかける環境対応の技術や、共生のための人間・社会システムの技術を体系化したものとして共生タスクオントロジーを示した。図-4 左上には「持続可能にする」という最上位のタスク概念があり、図-4 右下方向に持続可能性を達成するための「管理する」というサブタスクに分解したオントロジーが記述されている。これらの最上位概念群は並行して進めているサステナビリティ上位オントロジーに関する研究^{2,3)}で今後構築される部分である。図-4 中央から右方向には「管理する」の継承関係が続いており、図中のタスク概念を上方に位置するものから順に見ていくと（ただし、位置関係に意味はない）、はじめに、本研究で対象とした音環境系と水系・大気系土壌系などの他の環境のインターフェイスを考慮した体系的な対応が抽出されている。次に行政や法規制といった制度設計的なタスクが続き、その下には直接的に環境負荷を減らすための環境への働きかけである修復タスクがある。続いて啓蒙による問題の理解の促進などの環境への人間側からの適応タスクがあり、最下部には人間社会システムにおける経済活動と環境状態との関連から対応をする複合的なタスクが抽出されている。

このように共生技術の目的・手段の階層性、属性や機能の継承性、技術間の並列性などを明示することで、現在展開されている環境対応や未来において開発を進めるべき技術を系全体の働きかけに相対化させることができ、俯瞰的な視点の提供を支援することができる。また知識発見においてはものに対する新たな見方が提供されることが重要な意味を持つといわれており²⁾、この知識レベルでの共有が新たな技術知の創生や技術移転の戦略策定を支援すると期待される。特にタスクプロセスを定式化することは環境対応行動を標準化することも意味する。例えばビジネス領域ではビジネスプロセスの知識体系化

が進められ、プロセスやシステム、タスクなどを標準化して成功活動事例（ベストプラクティス）と連結させた知識レポジトリを構築し、マネジメントツールとして利用する研究が進められている²⁹⁾。環境対応においても環境対応のワークフローを標準化することで、ボトルネックの洗い出しや地域間での技術開発・導入レベルの比較など、戦略的な技術移転を支援すると思われる。

3. 形式知と既存知識体系との連結化

3章では、2章でのオントロジー構築により得られた形式知を既存の知識体系と連結化するステージを示す。ここでは既存知識の体系として、リスクサイエンスの三体として定義されるアセスメント、マネジメント、コミュニケーション²⁴⁾のうち、アセスメント、マネジメント知識との連結を考える。コミュニケーションについては、元々オントロジーは知識共有を志向して構築されるものであり、可視化された概念構造の存在と構築行為自体がコミュニケーションを支援する。計算機科学的には意味レベルの検索が可能な次世代ネットワークであるセマンティック Web²⁹⁾においても Web 空間を知識ベース化させる基盤知識として開発が期待されている。環境研究領域では環境情報へのアクセス性を高めることを目的として、例えば高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるリスク・コミュニケーションへオントロジーを連結させた事例²⁶⁾などの研究事例があり、今後の発展が期待される。

(1) アセスメント知識との連結化試行

a) 連結方法

アセスメントとは、ある活動によって生じる影響をあらかじめ回避・低減する為に、その行為に対して総合的な調査・予測・評価を行うという意味合いを持つ。しかしながら環境問題に関しては被害あるいは便益の評価が一面的になされた場合には不十分な評価であるとして結果に対する合意形成が困難なケースも多く存在する。そこでアセスメント知識の連結例として、共考により構築されたオントロジーとアセスメントの方法論の一つとして米国における紛争アセスメントで利用される「合意と不合意の領域図化」²⁷⁾との連結化を試みることで多面的アセスメント方略の知識創生の方略を考察する。

b) 連結方法

米国における紛争アセスメントでは、事前にステークホルダーに対するインタビュー調査等を行い、その論点に対して「何が重要となるのか」についての概念要素をとりまとめる。そこで一般的に用いられるのはマトリックスとしての集約法である。このマトリックスでは縦軸にステイクホルダー、横軸には人間系への影響項目、各セルには関心度の有無あるいは 1～5 点の相対的重要度が入力される。ここでは一例として、2章で得られた「共生系ドメインオントロジー（図-3）」における「人間系へのインパクト概念」の概念要素を横軸、縦軸には空間的スケール、各セルには 5段階での重要度を判定した仮想アセスメント事例のサンプルを表-2 に示した（ただしサンプルであるためセル内の数値自体は意味を持たない）。現状の音環境領域の環境影響評価では、騒音を発生させる現象を所与として騒音の物理・心理的評価を中心に行われているが、上記のようなアセスメントモデルを用いることで多面的な問題発見型のアセスメントが実行できると期待される。またここでの縦軸は「個人ーコミュニティ社会」という空間的スケールを設定しているが、例えば2章で構築した共生ドメインオントロジーのうち「問題概念系」のオントロジーの第2階層の概念である「環境系問題ー人間社会系問題ー経済系問題」という問題の性質で軸立てした場合、問題領域（縦軸）と被害領域（横軸）の連関関係が示されるため、何が問題となってどういう被害を発生させているのかを議論できるアセスメントモデルとなる。またオントロジーの継承的表現力を利用することで、問題構造を上位概念まで遡って考察できるため、より根本的な問題まで立ち返った議論を支援すると考えられる。さらに、課題で述べるように本研究の事例では便益概念についての情報が得られていないが、マトリックス中に便益項目を加えることで問題と便益のトレードオフ関係の把握を支援することが考えられる。米国の紛争アセスメントでは第三者機関によって便益についての項目もマトリックスに加味した総合的な考察が行われ、最終的にアセスメント内容が公開される。このため、合意された外的基準としてオントロジーを判断基準に用いることが、得られた領域図およびそれを基にした包括的な事業影響評価を合意可能にすると思われる。その意味でも知識共有ツールとして

表-2 人間系へのインパクト概念のオントロジーを用いたアセスメントマトリックスのサンプル

	人間・社会系被害				経済系被害					
	直接権利侵害	間接権利侵害	肉体的被害	精神的被害	物理的被害	営業支障	経営状態悪化	改善工事費	医療費	価格の下落
個人レベル	4	1	4	5	3	4	4	4	3	2
自治体レベル	4	3	3	4	3	4	4	5	3	4
町レベル	2	2	1	2	2	2	1	2	2	3

オントロジーとの連結化が支援できる可能性は大きい。

(2) マネジメント知識との連結化試行

a) 連結方法

次に、オントロジーとして導出された形式知に対するマネジメントの視点からの既存知の組み合わせとして、意思決定支援のためのツールである決定木 (Decision Tree) との連結を試みた例を示す。なお決定木とは、物事の意味決定や選択・分類行為を多段階に行う場合において時系列に従って分岐を階層化して樹形図 (Tree diagram) として表現した階層構造モデルの事を指す。一般に、意思決定者が可能な範囲で行為の選択を示す分岐を「□」、意思決定者が直接コントロール出来ない分岐 (イベント) を「○」で表す樹形図であり、選択肢が if-then 形式のルールとして時系列に従って視覚的に表示されるために評価や解釈がしやすく、予測ツールとして意思決定を支援できるという利点がある。

b) 連結方法

ここでは2章で利用した音環境問題に関する調停データ132事例を対象として決定木分析を試みた例を紹介する。元来、調停事例のデータは自然言語で書き下されるため、通常ならばこのデータそのものに対して定量的な処理を実行することはできない。そこで本研究では、調停の対象となる音環境の世界についての基盤知識である共生タスクオントロジーを利用することで自然言語を定量的に処理可能な形に変換して決定木を構築する。オントロジー言語によって表出した知識構造は現実世界の本質的概念のみを写像したものであり、オントロジーのフィルタに通すことで自然言語で書かれた事例データから本質部分のみを抽出することができる。具体的にはオントロジーに含まれるノードを用いて各事例に対して文中から合意の成否 (目的変数) と「これを達成するための概念要素 (説明変数)」の含有を判定することで、事例ベースがテキストデータからバイナリーデータに変換され、階層型決定木分析を実施できることとなる。なお、変換作業は語彙レベルならば計算機でも自動化可能だが、本研究では人間が意味レベルで含有の判定を行っている。

図-5に共生タスクオントロジーを用いて構築した音環境問題に関わる調停解決の決定木を示した。図中の各ノードには共生タスクオントロジーに含まれる概念のラベルとその概念が含まれた際の調停成功の確率が記載されている。またノード間を結ぶアークの部分には上位概念が発生した場合の条件付き確率を記載している。点線で表現されているノードは事例ベースに含まれなかった概念である。また図中には同じ上位概念の継承について下位の同一階層の確率の和が100%を超過あるいは下回るケースが存在しているが、これは各事例には必ずしも同一階層内の概念語が排他的に含まれないという木構造

表現に伴う問題である。この点に関しては多重継承を許すベイジアンネットワークを用いる方法やアソシエーション分析を用いて要因間の相関を考慮するなど様々な対応方法があるが、本稿では例示として可読性を高めるために暫定的に木構造としている。また決定木とは本来的には不確実性要素を時系列的に配列する事でその最大効用を分析する手段であるため厳密な呼称ではないが、ここでは便宜上決定木と呼んでいる。

本研究で得られた音環境領域における調停問題解決タスクでは、特に「人間・社会的手法」の「物理的対策」タスクを継承する「発生源の物理的低減」方略が高い成功率を示していることがわかる。また一方で IPCC (Intergovernmental Panels on Climate Change) で提唱される「Integrated Approach」の対応行動区分²⁸⁾である [Mitigation (原因系の緩和) および Adaptation (人間系システムからの適応)] の観点から考察した場合、音環境問題解決タスクでは騒音の「物理的低減」といった Mitigation タスクに偏重される傾向が判明する。調停成功率が全体としても4割程度であることや、騒音問題では発生源側の物理的低減対策に止まらない社会音響学的なアプローチの必要性が指摘されている点を考慮すると²⁹⁾、今後の音環境領域対応においては今後「Adaptation (例えば情報公開や補償など)」などの社会システムのなアプローチを補完的に扱う事で Mitigation に対するコストの最適化に注目すべきであるという新たな知識を明示的に得ることができる。

このように構築したオントロジーを用いることで暗黙化していた知識を定式化することができ、ルールの理解促進のための新たな知識が得られたといえる。さらにはオントロジーによる環境対応タスクの体系の可視化により、ボトルネックの発見を支援したり、2章の共生タスクオントロジーで記載したビジネスプロセスマネジメントのようにベストプラクティスまで参照できるマネジメントモデルが出来れば問題の評価に加えてその解決までの議論を支援することができると期待される。

4. 連結化した知識を社会に内面化するまでの課題

(1) 本研究で得られた知見の整理

本研究では、知識創生の基本モデルであるSECIプロセスに従って環境対応に関する知識体系をオントロジー技術により可視化し、これを用いて紛争アセスメントや調停マネジメントといった既存の知識体系との連結を行った。ここで、構築されたオントロジーによりアセスメント方法論や決定木などの既存知識の適用範囲の拡張の可能性が示された点を考慮した場合には、オントロジーが持つ体系的な表現力を活用したナレッジマネジメントモデルは一定の成果を有すると思われる。特に、近年

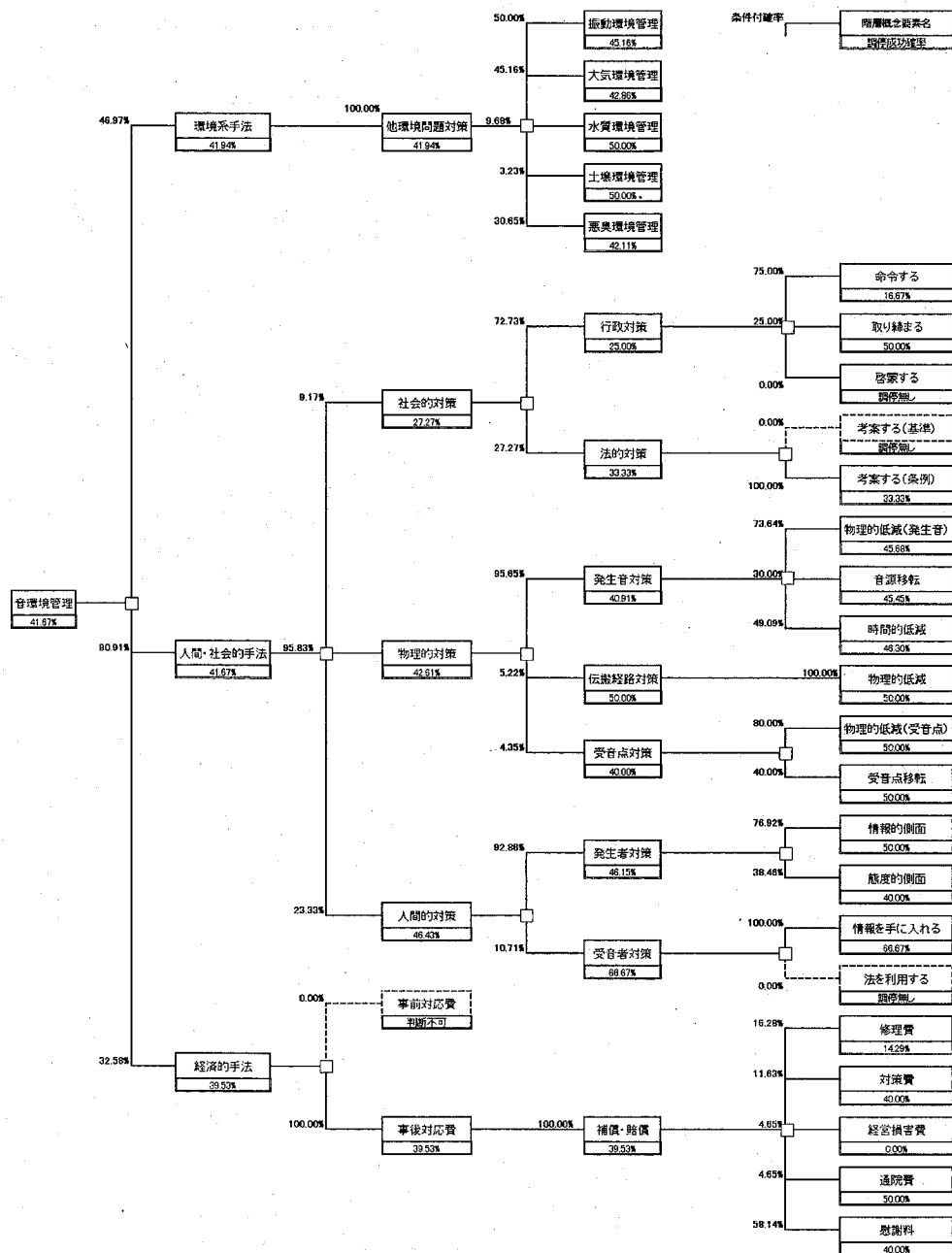


図-5 共生タスクオントロジーを利用した決定木分析の例

各所で知識の構造化の必要性が叫ばれる中で様々な試みがなされているが、本研究では構造化された知識をいかに活用するかに着目して、知識創生プロセスからナレッジマネジメントへの展開と応用の可能性を議論できた点は重要な成果であると思われる。今後、サステナビリティ学の知識構造化においても同様のナレッジマネジメントプロセスを経ることで既存の知識体系を活用した知の循環・創生戦略の展開を支援できると期待される。

(2) サステナビリティ学の知識構造化の考察

一方、これまでの一連の知識創生プロセスの実施を通じて、特に知識創生を支える基盤知識であるオントロジーの構築に関して種々の課題が発見されている。サステナビリティ学の知識構造化でもオントロジー構築でもこれらの課題を共有することは重要な意味を持つため、方法論的な課題を踏まえつつ、以下に今後サステナビリティ学の知識構造化を行う上での指針を議論したい。

a) オントロジー構築方法論に関する課題

まずオントロジーの構築方法論に関連する課題としては、①収集するデータの範囲に依存してオントロジーの形状が変わる可能性があること、②産官学民の各主体間で同じ用語（ラベル）で表現されていても同じ概念・意味に着地していない可能性があること、③構築されたオントロジーが客観性を持った真のモデルかの妥当性の問題があること、などが挙げられる。①については今後広範なデータを対象とすることで今後の良化が期待されるが、②③の課題についてはオントロジー工学技術が持つ本質的な課題である。オントロジー構築やエージェントシミュレーションなどの構成論的なシステムモデリング手法には、分析的なアプローチとは異なり、それが真のモデルであるかどうかの判定が困難であるという制約がある。この問題に関しては、SECIプロセスのような「問題発見-モデルの良化」というサイクルの確立と構築技術の洗練が大きな課題となるであろう。

b) 便益概念の抽出

本研究で明らかになったサステナビリティ上位オントロジー構築における第1の課題は、サステナビリティのコンテキストの設定に関する問題である。人間環境共生系のシステム全体でサステナビリティを高めようとする場合、システム内で起こりうるトレードオフや共変動関係を理解することが極めて重要であり、意思決定を支援する上で極めて重要な課題である。しかしながら本研究でのナレッジマネジメントプロセスをふりかえった場合、便益概念の抽出が不十分であるという問題点が発見されている。これは2章のオントロジー構築段階から継承される問題であり極めて本質的な課題となる。本論が対象とした音環境領域の問題、特に負の産物である騒音問題とは、交通、産業・アメニティ活動という上流側にある価値の産出活動の副産物として発生するものであるため、「騒音」というエンドポイント側のコンテキストから出発するボトムアップ的な探索では便益概念の抽出が困難であることに起因すると考えられる。例えば「交通」という要素概念を考えた場合、社会経済的なコンテキストにおいては物流の基盤インフラというロールを持った便益概念と解釈できるが、一方で騒音問題というコンテキストから見れば環境負荷を生じさせる発生源のロールを持つ負の概念となる。この問題は特にオントロジー構築におけるロール概念のコンテキスト依存性に関わる極めて重要な課題である。「共生システムのサステナビリティ」を公理とするならば、形而上・形而下にわたる膨大な要素概念を含む共生系において時空間的なマルチステイクホルダー間で明示化に共有できる「サステナビリティ」というコンテキストはどのようなものであるのか、また対象ドメインに依存しないサステナビリティの上位概念において便益・費用概念とはどう

定義されるかについての極めて深い考察が必要である。

c) ゴール概念の記述

第2の課題としては、ゴール概念の設定に関わる問題である。共生系ドメインオントロジーにおいて環境・社会・人間の現在の状態や属性を描くと同時に、それらが将来あるべき姿とは何かについてのゴール概念を明示化することで、その乖離を跳躍するための共生タスクオントロジーが駆動して新たな共生の知識発見が可能となる。ここでゴール概念の明示化を考えた場合、今回の試行では音環境領域という単独領域を取り扱っているため、基本的には「騒音低減による環境負荷の最小化問題、あるいは人間系への影響の最小化問題」という比較的単純なゴールに帰着できるが、共生系全体でのサステナビリティという文脈では利害関係者間・世代間でマルチゴールとなる。「共生系全体のサステナビリティの維持」という第1階層の単一ゴールは共有できても、サブゴールに分解していく際に総論賛成、各論反対的な状態に陥ることが容易に想定される。どの階層のどのゴールまでが共有可能かについて深く迫ることが、サステナビリティサイエンスの鍵となるだろう。

d) 共生タスクの汎化

第3に共生タスクの汎化の問題である。本研究では知識抽出の対象が人間-音環境系の問題を境界条件とした分析であるため、共生ドメインオントロジーは勿論のこと、共生タスクオントロジーにおいても音環境領域に固有の概念が数多く含まれている。これをサステナビリティモデルの文脈で汎化させた場合、サステナビリティサイエンスは極めて分野横断的な対象領域を持つため、概念要素の記述が爆発的に増大する可能性がある。これを回避するために概念の抽象度や粒度を大きくしてドメインフリーなサステナビリティ上位オントロジーを構築した場合には、実環境での利用が困難なほど抽象度が高い一般論的な概念構成となる可能性がある。サステナビリティ上位オントロジー構築では汎化と実装という双方の視点が要求され、種々の主体の共考が求められる。

e) 知識創生プロセスの循環

2章、3章の表出化・連結化の試みで得られた知識と4章での課題という形で発見された知識をもってSECIプロセスの1サイクル目の知識発見が終了したことを意味する。ここで得られた知識はサステナビリティ上位オントロジーに向けたSECIプロセスの2サイクル目を実施する際の知識として重要な意味を持つであろう。先にも述べたように、環境システム的なアプローチに適した知識表現とその洗練、ならびに問題発見-モデル良化のサイクルを確立することは知識創生において不可欠であり、サステナビリティ上位オントロジー側で得られた知見も含めて、環境対応のための知識創生プロセスの循環モデルの構築と定式化を試みる。

謝辞：本論文では、音環境領域知識に関しては大阪大学大学院人間科学研究科桑野園子教授、青野正二准教授、サステナビリティ学およびオントロジーに関する領域知識では大阪大学産業科学研究所溝口理一郎教授、大阪大学サステナビリティ・サイエンス研究機構齊藤修助教には多大なるご支援を頂きました。ここに記して謝意を表します。ただし文責は全て著者にあります。

参考文献

- 1) 大阪大学サステナビリティ・サイエンス研究機構：
<http://www.riss.osaka-u.ac.jp/index.html>
- 2) 溝口理一郎：「知識の体系化とオントロジー工学—サステナビリティ学の確立を目指して—」，第21回環境システムシンポジウム「知識技術の環境システムへの応用」講演資料集，pp.1-8，2006.
- 3) 齊藤修，松井孝典，熊澤輝一，上須道徳，溝口理一郎：「サステナビリティ学のオントロジー構築とその応用に向けた予備的研究」，環境科学会 2007 年会，印刷中，2007.
- 4) 野中郁次郎，竹内弘高：知識創造企業，東洋経済新報社，1996.
- 5) 武内雅字，林雄介，池田満，溝口理一郎：「実践・教育複合型協調学習場の設計支援に向けたオントロジー工学的アプローチ」，人工知能学会誌，Vol.21 No.2，pp.184-194，2006.
- 6) 小宮山宏：知識の構造化，オープンナレッジ，2004.
- 7) 齋藤雄志：知識の構造化と知の戦略，専修大学出版局，2005.
- 8) 溝口理一郎：「オントロジー」，人工知能学事典，pp.218，2005.
- 9) 溝口理一郎，池田満，來村徳信：「オントロジー工学基礎論」，人工知能学会誌，Vol.14 No.6，pp.1019-1032，1999.
- 10) 崎晃司，笹島彦彦，來村徳信，溝口理一郎：「オントロジー構築入門」，オーム社，2006.
- 11) 「特集：開発されたオントロジー」，人工知能学会誌，Vol.19 No.2，135-193，2004.
- 12) 「特集：環境情報オントロジー」，環境情報科学，Vol.33 No.4，2004.
- 13) Swoogle：<http://swoogle.umbc.edu/>
- 14) 松井孝典，森長誠，津田智行：「騒音問題解決タスクオントロジーの構築に向けて」，日本音響学会 2006 年秋季研究発表会講演論文集，pp.631-632，2006.
- 15) Tomoyuki Tsuda, Shoji Aono, Sonoko Kuwano, T. Matsui, M. Morinaga：「For advancing noise problem solving ontology—aiming for comprehensive sound environmental management」，Inter Noise 2006 Proceedings，2006.
- 16) 津田智行，松井孝典，青野正二，桑野園子，森長誠：「データマイニング法を用いた音環境知の分析と構築—緩和と適応の視点から—」，日本音響学会 2007 年春季研究発表会，pp.793-794，2007.
- 17) 那須川哲哉，河野浩之，有村博紀：テキストマイニング基盤技術，人工知能学会誌，16 巻，2 号，201-211，2001.
- 18) 溝口理一郎：「オントロジー」，人工知能学事典，pp.252-253，2005.
- 19) 崎晃司，來村徳信，溝口理一郎：「Web2.0 時代のオントロジー利用—雑感—ライトウェイトからヘビーウェイトまで」，人工知能学会研究会資料 SIG-SWO-A602-06，2006.
- 20) 武田英明：「上位オントロジー」，人工知能学会誌，19 巻 2 号，pp.172-186，2004.
- 21) Riichiro Mizoguchi et al.：「HOZO—an Environment for Building/Using Ontologies」，<http://www.hozo.jp/>
- 22) 丸山修，宮野悟：「発見システムとヒューマンエキスパートのインテグレーション」，発見科学とデータマイニング，共立出版，pp.179-189，2001.
- 23) 和泉憲明，吉岡健，山口高平：「ビジネス志向のサービス関連オントロジー」，人工知能学会誌，Vol.19 No.2，151-158，2004.
- 24) 池田三郎：日本リスク研究学会の 10 年間の歩みから—21 世紀にむけた「リスク研究」への提案—，日本リスク研究学会誌，10(1)，pp.15-24，1998.
- 25) W3C：「Semantic Web」，<<http://www.w3.org/2001/sw/>>
- 26) 鈴木維一郎，坂本愛，福井弘道：「オントロジーの利用方法：地層処分リスク・コミュニケーションにおけるオントロジーの構築と活用事例」，環境情報科学センター，33 巻 4 号，pp.9-17，2005.
- 27) Consensus Building Institute, Inc. Pace University Land Use Law Center 著：コンセンサス・ビルディング推進協議会設立準備委員会訳，土地利用計画における紛争アセスメント（ステークホルダー分析）実施要領，2005.
- 28) IPCC：IPCC Third Assessment Report; Climate Change 2001，2001，http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/
- 29) 橋秀樹：「I-INCE の組織と活動」，騒音制御，Vol.28，No.6，pp.380-382，2004.

Discussion about Knowledge Management Model for Environmental Problems using SECI-Model and Ontology Engineering Technology

Takanori MATSUI, Tomoyuki TSUDA, Makoto MORINAGA

For realization of “sustainable development”, underlying concept of environmental conservation today, impartial judgment to the elements of human society, economy and environment is indispensable and it is no exception about sound environment. For the fair judgment, it is extremely important to point out knowledge management specifically because effective application of it supports decision-making, information sharing and reutilization, consensus building and so on.

In this study, drawing upon SECI model which is the cycle of knowledge construction and sharing, socialized knowledge (specialists, mediation cases and public comments) was obtained and from it knowledge management model was structured with the adoption of data mining and ontology engineering method (externalization), and combined it with existing knowledge as Assessment and Management method, and considered the internalization of the knowledge of sustainability.