

特集 「グリーン AI」

# 環境・サステナビリティ分野におけるオントロジーを利用した協働支援

## Collaboration Support Using Ontology in Environmental and Sustainability Science

熊澤 輝一

Terukazu Kumazawa

人間文化研究機構総合地球環境学研究所

Research Institute for Humanity and Nature.

kumazawa@chikyu.ac.jp, <http://www.chikyu.ac.jp/>**Keywords:** sustainability science, collaboration design, knowledge-sharing, ontology.

### 1. はじめに

環境・サステナビリティのデザインを支える環境学やサステナビリティサイエンス (Sustainability Science: SS) [Kates 01, Kates 11, Komiyama 06] は、問題解決型の学術領域である [Clark 07, Komiyama 06]。地球温暖化や大気汚染, エネルギー資源の枯渇, 廃棄物, 生物多様性の減少, 食糧・水不足, 貧困といった諸問題に対し, あらゆる種類の知を動員しながら解決にあたる学術分野である。

例えば, ニホンウナギ減少の問題を考えてみよう。ウナギ養殖の種苗となるシラスウナギの漁獲量は, 1970年以降急激に減少し, 2000年代に入ると2割未満になった [井田 07]。これは, 食料資源, 生物多様性の問題であるとともに, 経済や食文化に対しても影響を与える複合的な問題である。また, ニホンウナギは外洋で産卵するので, 地域から国際に至るマルチスケールな問題でもある。原因についても, 乱獲, 生息環境の破壊, 海洋環境変動などさまざまな要因が複合した結果といわれている。このような複合的で多方面への影響を与え, さらに異なる視点や時空間スケールでの議論が可能な問題の解決へは, さまざまな専門家が参加する分野横断型 (interdisciplinary) のアプローチ [Klein 04] をとることとなる。近年は, 非専門家の人々を含めた超学際的 (transdisciplinary) なアプローチによる「科学と社会による共創 (co-production, co-design)」が提唱されている [Lang 12]。

Transdisciplinary approach は, こういった方針の妥当性と実現手段を明らかにするにあたり, 企画の段階からさまざまな利害関係者と協働し, 社会と科学の双方に対して成果を提供していくアプローチである。ニホンウナギ減少の問題では, 漁獲制限, 種苗放流, 環境整備という点に, このアプローチで取り組むべき, ということになる。とはいえ, さまざまな知を共有しながら協働を

進めていくにはどうすればよいのか。一般的には, 会議やワークショップ, 近年では SNS (Social Networking Service) 上でのコミュニケーションを通じて知を共有していくことになる。しかし, これらの機会によって共有が完全に保証されるのは, 発言, 所作, 服装, 周囲の環境といった, 瞬間にあった事実のみである。これらの事実は, 映像に記録できることからわかるように, 知識として共有できる。しかし, これらの事実をどのように理解しているのか, といった概念と内容の共有が保証されているとはいえない。同時に, どのような背景や経緯, 根拠をもって主張がなされたのか, といったコンテキストについても, 人々は互いに見いだしてはいるものの, その共有が十分に保証されているとはいえない。これらを明示して, 共有する手段があれば, より確実な相互理解に貢献するのみならず, 透明性と説明責任の向上にも寄与すると考えられる。

本稿では, 概念, 関係, コンテキストを明示的に扱うことにより, 知識間の相違点の共有と相互運用の両面を支援する手法として, オントロジー工学の理論と技術に着目し, SS のオントロジー (以下, SS オントロジー) を用いた協働支援の仕方について, 事例調査, 再現実験, 例示を伴った考察を通して論じていく。まず2章では, SS オントロジーとはどのようなものかを紹介する。3~5章では, 具体的にどのような相違点やニーズがあるのかを明らかにしたうえで, SS オントロジーが支援ツールとしてどのように役立つのかを示す。

### 2. SS オントロジーと概念マップ生成ツール

#### 2.1 SS オントロジー

SS オントロジーとは, SS の領域とそこに存在する問題の解決という二つの異なった側面を同時に対象として概念化したオントロジーである。言い換えると, SS オントロジーは, ドメインオントロジーとタスクオントロジーの両方の側面をもつ。これを反映し, SS オントロ

ジーの実装では、対象領域に関する知識と問題解決の知識という二つの概念世界に分かれる。そして後者には、持続可能性に関わる「問題」、解決のために用いられる「対策」、達成や状況把握のための「物差し」たる「評価」、「ゴール」といった概念が現れることになる (図1)。

一般にオントロジーには、構築と利用の簡易性を考慮したライトウェイト (Light-weight) オントロジーと、厳密な意味での一般-特殊関係や全体-部分関係などの多くの関係や公理によって概念の意味が記述され、哲学的考察を重要視するヘビィウェイト (Heavy-weight) オントロジーがある。SS オントロジーはヘビィウェイトオントロジーとはいえないが、さまざまな関係に基づきながら概念を定義しているという点では、ヘビィウェイトな側面を志向しているといえる。

SS オントロジーは、大阪大学産業科学研究所溝口研究室 (当時) にて開発したオントロジー構築・利用ツールである「法造<sup>\*1</sup>」を用いて開発した (図2)。法造は、対象世界の本質的な概念構造を把握することを目的とした、オントロジー工学の基礎理論に基づいたオントロジーの開発・利用環境である。法造の最大の特徴は、ロール概念を扱えることにある [古崎 02, 溝口 05]。これにより、人間、果物、灯油などが教師、食べ物、燃料などのロールを「担う」とモデル化することが可能である。SS オントロジーでは、この特徴を生かしてSSに関する概念を可能な限り厳密に定義していくことを目指した。

オントロジーの概念は、関連する既存文献・資料から語彙を抽出するとともに、環境・サステナビリティを専門とする大阪大学所属の若手研究者を対象にワークショップを行い、抽出した。概念間関係については、知識工学と環境・サステナビリティの研究者の間で月ごとにワークショップを2006年から36回開催し、議論を重ねることで構造化した。このようなプロセスを通して、2013年3月現在、4500余りの概念、13階層をもつオントロジーとなっている。図3に「問題」の下位概念を抜粋したものを示す。

SS オントロジーは高度に領域に中立な上位概念を、領域に中立な概念で可能な限り分類して、その下に、領域に依存した下位概念を置くことで構成することを基本方針とした。領域の概念を上位に配置すると、領域の縦割り状況を示すだけになり、SSをオントロジー工学の理論に基づいて再構築するという当初目的をあきらめることになるからである。実際の作業としては、領域の概念を集約する作業を通して、問題解決に関わる抽象的な概念を導き出し、部分概念と属性概念を特定する作業を通して、上位-下位関係を構築していった。また、ある概念を定義する過程で、より上位-下位の概念を定義し直す必要が生じた場合は、これを行った。

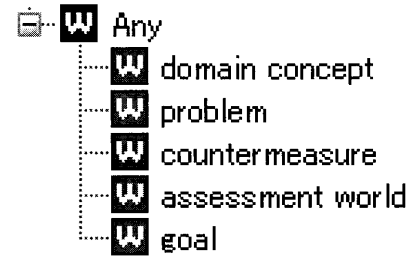


図1 SS オントロジーの最上位概念 (domain concept は「共通世界」のこと)

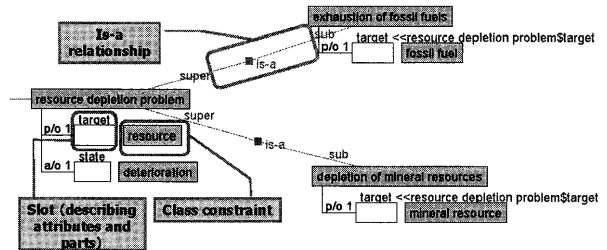


図2 法造を用いたSS オントロジーのクラス定義のようす (途中の過程からの抜粋)

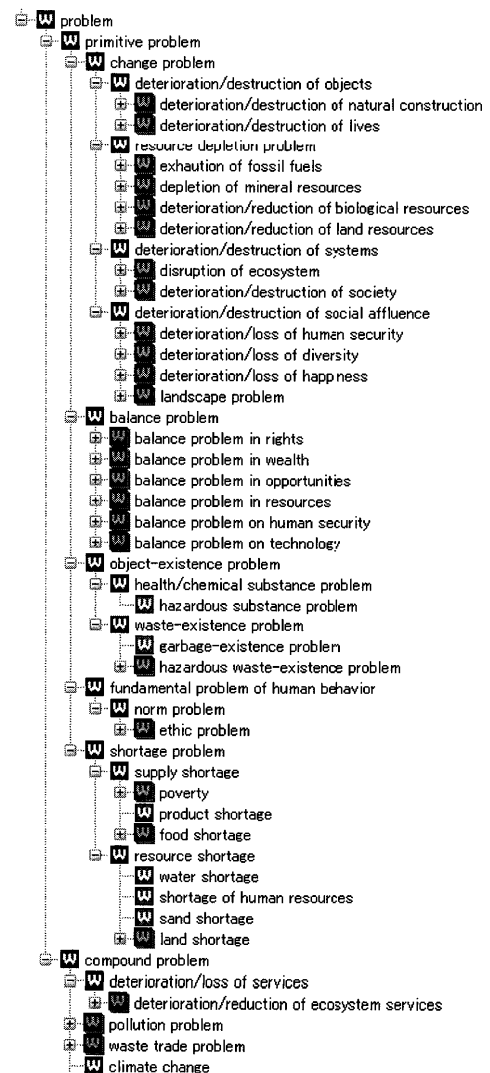


図3 「問題」の下位概念の定義 ([Kumazawa 13] より抜粋)

\*1 <http://www.hozo.jp>

2.2 概念マップ生成ツール

概念マップ生成ツール（以下、マップツール）は、法造をベースにしたツールであり、法造同様、大阪大学産業科学研究所にて開発中のツールである【廣田 08, 廣田 09】。このツールはSS オントロジーから概念を抽出し、使いやすい概念マップとして視覚化するものである（図4）。概念マップは、利用者によって指定された視点に基づいて描かれる。このツールを使えば、各領域の専門家は、自らの関心に応じてオントロジー上の概念を自由に探索し、結果として専門領域の知識体系をオントロジー上の概念を用いて表現できることになる。マップツールは、オントロジーと個別領域の専門家との隔たりを埋めることができるツールである。

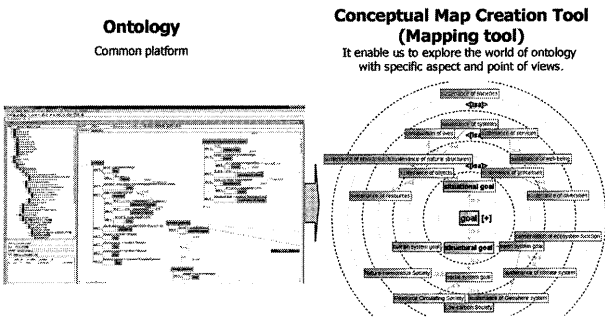


図4 SS オントロジーからのマップ生成

表1 問題類型の全体的傾向

【分野系統の略称】環：環境マネジメント系、エネ：エネルギーシステム系、政：政治学系、経：経済学系、情：情報学系、倫：倫理学系、社：社会学系、態：生態学系、農：農学系、命：生命工学系、実：(非生命)工学実験系、健：食・健康系		ID・職位	現象	方策	手法	枠組	左記以外
質問紙のみ	情	1准			1		
	エ	2教3教	1	1	1	1	
	実	4教		6			
	環	5他6教8教9研10研11研13准	5	4	2	2	1
	政	7研	1				
	経	12研	1				
	態	17研18研21准	4		3		
インタビューを実施	農	19研20研(22教)	5	2			1
	命	(44教)	2				
	実	15研25准26研27研28准	7	5			5
	健	23教	6				
	倫	16教			1		4
	社	24准	4	2			4

・「教授の中には、問題領域を扱う学術、研究者のあり方を問題化する者がいた。」

「メタ問題」の提示はこの分野のみ

表2 視点の差異をもたらす因子 - 結果の分類（一部抜粋）

ID	困難をもたらす事象に言及した回答 / 協議時に必要な事柄に言及した回答 / 専門家間にある事実としての差異に言及した回答	因子	
3	自分の得意分野に話を持っていく傾向	方向、対象	
エ	興味の違い	対象	
15	実	それぞれの方が目指している方向が少し違う。	方向
21	態	・生態学では、「多様なことは良いことだ」が研究の出発点となっているように思える。	フレーム、認識
26	実	・(困難は伴わないが事実として)学術コミュニティ間で微妙に言葉が違う(②)。	②定義
27	実	・スケールの大きさが異なる。整形・加工屋: kgスケール。化学屋:何gスケール。バイオ: mgスケール・μgスケール(②)。結果、認識が異なる(④)。<<医学分野の専門家との協働についても同様の事例>>	②粒度 ④認識
28	実	・大きいプロジェクトの場合は専門用語を議論するワークグループが必要。共通言語を認識した上での議論ができるように。企業さんが苦労しているかもしれない(③)。	③定義

3. 概念分析ツールとしての役割

3.1 概念理解における相違点

SS の理解を支える知識領域について、異なる分野の専門家間にどのような相違が生じるのだろうか。例えば、研究・教育の協働事業（共同研究、カリキュラム作成）を行う際に協働する場合を考えてみよう。ここでは、SS に関する問題と対策、協働の際に困難をもたらす事象について、SS に関係する 28 名の専門家に対し、質問紙調査およびこれを補完するインタビュー調査を行った結果【熊澤 12】を紹介する。

まず、表1は、おのおのが「問題として捉えている事柄」を分類したもので、「現象」、「方策」、「手法」、「枠組」などに類型化された。このようにSSについては、どのような事柄を問題と捉えているかが、専門家間で大分異なることがわかった。

次に、専門家間にある視点の差異をもたらす因子を探索したところ、「定義」、「粒度」、「対象」、「方向」、「フレーム」、「認識」の六類型を抽出することができた。表2は、その代表的なケースである。これらの因子による視点の差異が生じている事実を共有することは、協働時のコミュニケーションを支援すると考えられる。

このように、相違点といっても、異分野の専門家間の協働においては、問題として捉えている事柄、視点の差異をもたらす因子といった、概念レベルでの相違を含む

のである。SS オントロジーは、このような概念レベルの相違点を明示し共有することで、健全な議論を行うことを支援する道具として構想された\*2。

3.2 概念分析ツールとしての効用

SS オントロジーの上位構造の設計では、部分概念と属性概念の違いにより明示的に区別することで、重複のない概念定義を行うことができた。SSには、よく用いられながら、定義が必ずしも共有されていない語がある。例えば、同じ「環境」という語を用いていても、ほぼ「自然」と同義で使われている場合もあれば、社会や人間を対象に含む場合もある。「環境」のほかにも、「エコロジー」、「ランドスケープ」、「コモンズ」などがあげられる。オントロジーによる概念化を通して、これらの例に見られるような言葉の捉え方の差を確認できるとともに、明示された定義を規定した際にこれを共有することができる。一方で、SS オントロジーにより明示された定義は、分類や評価の「基準」としての役割も果たす。例えば、「規制」という言葉を、制度として見るか、行為・過程として見るかを確定させることができる。

このように、SS オントロジーは互いの知識領域を明

\*2 明示すること自体が与える影響については、さらなる調査が必要となるだろう。

示することで相違点を共有し、調整をしつつ定義や基準となる概念を確定することに貢献する。

#### 4. コンテキスト分析ツールとしての役割

##### 4.1 コンテキストにおける相違点

専門家が提示した因果連鎖と、SS オントロジーから生成させたマップ<sup>\*3</sup>によってこの連鎖を再現した結果とを比較することにより、コンテキストの相違を検証する。本来は、複数の人が同じ SS オントロジーを用いて、各人の思考を再現する<sup>\*4</sup>か、各人が用意した複数のオントロジーを比較することが望ましいが、ここでは、調査対象者が提示した問題の解決手順 (CGE: Conceptual chains Generated by Experts) と SS オントロジーから生成された因果連鎖 (CGO: Conceptual chains Generated from the SS Ontology) の比較を通して、近似的ではあるが、コンテキストの相違を明らかにしていく。

得られた比較可能な 37 例のうち、特にマップによる再現が成功したといえる事例における共通の特徴としては、「選択」に関わる「対策」を示している点があげられる。成功した 3 例を見ると、おのおの施策オプション (太陽光発電<sup>\*5</sup>)・支援手法 (シナリオ)・仕組み (民主的な意思決定) と対象を異にしているが、これらはすべて「選択」に関わる「対策」である。オントロジーの性質上、選択肢から成る議論に取り入れられやすい概念はオントロジーの中に組み込まれやすいと考えられる。言い換えると、オントロジーは代替案選択と親和性がある。

37 例のうち、同じ対策に到達した連鎖であっても、CGE と CGO の間で互いに異なるルートで到達している場合があった。これをコンテキストの相違と捉えて議論する。図 5 は、CGE とは異なる分野を一部たどって指定の対策概念に到達するケースである。この例では、CGE、CGO とともに制度設計に関する連鎖である点は一致していた。しかし、CGE において「環境基準の総括と見直し」という「基準量の設定」に着目した概念を経由したのに対し、CGO においては「需要側の利用量を減らす」という「実際の量の制御」に着目した概念を経由していた。

さらに、再現を成功したとはいえない事例における共通の特徴としては、CGE で「ルール、権限」、「メカニズム」、「規制」、「利害関係」といった不可視的な概念をたどっていたのに対し、CGO は「コミュニケーション

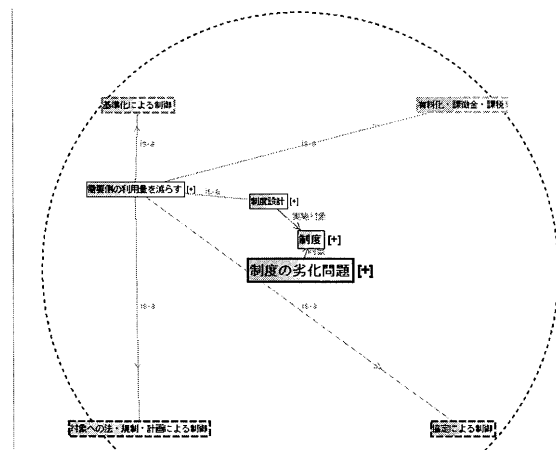


図5 調査対象者 (ID8) による CGE の再現を試みた事例

する」、「都市インフラ」、「コスト」といった可視的な概念をたどっていた<sup>\*6</sup>。これらの事例を見る限りにおいては、提示された不可視的な概念は「システム」の構成要素である。SS オントロジーとしては、「システム」概念の下位概念の充実・詳細化と「システムの構成要素」をリッチに組み込むことによる厳格な定義を行うことが課題ではあるが、SS においてコンテキストが違う場合が生じ得ることを明示できた。

##### 4.2 コンテキスト分析ツールとしての効用

SS オントロジーを用いてコンテキストを探索すれば、どのような背景などにより主張が提示されているか、また提案とは別の道筋をたどったときに、どのような論理展開があったのかを理解し、共有することができる。また、同時に、おのおののコンテキスト間の比較を保証する。

§1 さまざまな解決の枠組みを統合的に理解・共有する  
例えば、地球の持続可能性の確保を最終目標とする場合であっても、経済と環境のどちらの制約条件を前提として議論を開始するかにより、議論の道筋は全く変わると考えられる。制約条件には、市場をはじめとする社会経済システムの機能・境界、環境容量、担い手の技術・知識といった能力があるだろう。この道筋を明示的にすることにより、相互理解の促進に寄与する。オントロジーがあったほうが、不理解と誤解に基づく無用な紛争が起きる危険を避けることができる。このように SS オントロジーは、議論の出発点や道筋が全く異なる解決の枠組みを重ね合わせることで、おのおのの主張を俯瞰しながら解決策を調整することを可能にする。

##### §2 問題 - 解決 - 問題という連結の見通しを立てる

サステナビリティに関わる問題は、その関連性の高さゆえに、ある項目が解決すると、これに連鎖して新たな社会問題が発生する性質をもつ。ある項目を論点にした後、次にどの項目を考えるべきかを論じることができ

\*3 法造が提供する幅優先探索を基本としたアルゴリズムによる自動生成機能により作成した。

\*4 これについては、[Kozaki 12] がバイオ燃料生産を焦点に当てたサステナビリティ問題について、ロールプレイ型の被験者実験を行い、相違点共有ツールとしてのマップツールの有効性を検証している。

\*5 太陽光発電は、一般に、多様な再生可能エネルギー源の中から太陽光発電を選ぶというコンテキストで議論されるため、「選択」に関わる「対策」とみなせる。

\*6 全く異なる分野のクラス (class) をたどった 7 事例中 4 事例で見られた。

る。例えば、調査対象者 (ID13) は、「環境税やエネルギー税のもつ逆進性が低所得層に過度の負担を与える可能性があること」を問題としてあげた。逆進性の問題は経済学が取り上げる問題であるが、SS に係る税制の場合は、SS 関連する問題としても位置付けられる。このように SS オントロジーは問題-解決-問題といった連鎖を記述できるので、サステナビリティ指標の分野が苦手する不均衡性や二次的影響に関する議論を補完することができる\*7。

## 5. 知識の相互運用支援ツールとしての役割

### 5.1 SS における相互運用のニーズ

SS における問題解決の取組みについては、成功事例であっても気候・生物群集などの自然的特性や産業・民生構造などの社会的特性の違いにより、参考にしにくい場合がある。特に、外国での取組みは、制度および制度を支える背景が異なるために、その典型である。外部から導入可能な知識を確実に把握するための仕掛けが必要である。一方で、地域で蓄積された自然資源の利用・管理などの知識を確実に継承していくこともまた、サステナビリティの確保に寄与する。

このように SS では、地域内外に蓄積された知識を継承・移転していくこと (図 6) に対する潜在的なニーズがあるものの、方法論が確立されていない状況にある。また、こういった異なる条件下にある事例同士が知識を相互に運用することができれば、相互の問題解決能力を高められるだろう。SS オントロジーは、計算機が処理できる形式の知識であるから、Web を介しての知識共有・移転を実現できる。また、これまで暗黙的なものとして処理されてきた知識を明示しながら思考できると期待される。

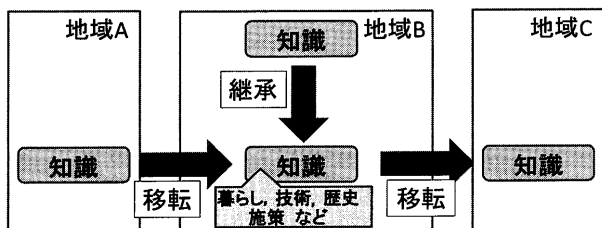


図 6 知識継承・移転の構図

### 5.2 相互運用支援ツールとしての方向性

#### §1 事例間の連結による関係性の保証

SS オントロジーを URI で名前付けされたリソースとリンクさせることにより、Web ページなどの URI で示されるリソース間の関係を、より明確な論理関係に基づいてたどることができる。例えば、外国の都市のタウン・

マネジメント事例が、日本の農山村の再生活動とリンクしたとき、再生に向けたヒントを提供するかもしれない。また、共通の概念や、共通の因果連鎖からなるコンテキストが確認されれば、事例間の類似性が検証されたことになる。SS オントロジーを用いれば、これまで直感としか受け取られなかった新たな解決枠組み提案の契機が、論理的に確かな関係や類似の概念・コンテキストをもつものとして主張できるようになり、異なる条件の事例での経験を有効に活用できることが期待される。SS オントロジーは、別領域の知識をヒントにしたモデルや複数領域を包含したモデルの設計に貢献することで、イノベーションに寄与する。近年広がりつつある Linked Open Data (LOD) の取組み [長野 12] は、Web 上のデータをつなぐことで新しい価値を生み出そうとする取組みである。SS オントロジーと LOD との連携は、すぐに取り組むべき研究課題である。

#### §2 オントロジーマッチングによる知識共有

SS オントロジーと、別の分野のオントロジーもしくは別の SS オントロジーの概念同士の対応付け (オントロジーマッチング) を行うことにより、例えば、SS と社会学、SS と生態学を結び付けることができる。最終的には、SS オントロジーを介して異分野間の概念の連結を実現することになる。これによって、SS における新たな知識の生産とモデル構築を支援できる。ただし、媒介となる SS オントロジーの規模については、今後議論していく必要がある。

## 6. おわりに

本稿では、知識間の相違点共有と相互運用の両側面から SS オントロジーの SS への貢献の仕方を論じた。示されたことは、以下の 2 点である。

- (1) 概念とコンテキストの相違について、分析的に理解し、共有できる。
- (2) 知識の相互運用を支援できることが期待される。

これらを踏まえた結論として、SS オントロジーは、明示性の高さを求められる状況が整えば、環境と社会の持続可能性に資する知識の共有と流通を促進する有効なツールとして、協働プロセスの中で機能することだろう。

見だ目の概念構造の違いは、オントロジー構築者が提供した世界の違いに過ぎない。大切なのは、Web サイト、文献などに表象される事柄は何なのかを追究し、他者との相違を共有しつつ、自らの思考も理解することである。一見相反することではあるが、SS オントロジーを共通の「基準」として活用することで、このための思考が支援される。

著者が所属する総合地球環境学研究所 (地球研) では、統合知 (consilience) による総合地球環境学の確立を目指し、これを transdisciplinarity の枠組みで行いつつある [立本 13]。環境のサステナビリティデザインにお

\*7 ただし、オントロジーに記述されていない論点が潜在的にあった場合をどのように扱えばよいかは、今後の課題である。

いても、今回例示した専門家の場合のみならず、非専門家の視点・枠組みとも連携可能でなければならない。今後は、この点を踏まえて、SSオントロジーの改良と社会実装に取り組んでいきたいと考えている。

### 謝 辞

本稿は、溝口理一郎教授(北陸先端科学技術大学院大学)、武田英明教授(国立情報学研究所)、古崎晃司准教授、松井孝典助教(以上、大阪大学)、齊藤修氏(国際連合大学)、太田衛氏(株式会社エネゲート)はじめ、SSオントロジー開発の研究主体であった大阪大学サステナビリティ・サイエンス研究機構「知の構造化ワークショップ」(主査:溝口理一郎教授)(2006~10)のメンバーとの議論を基礎に置いています。ここに感謝の意を表します。

なお、本稿は、科研費(24710054:若手研究(B))の助成を受けたものです。

### ◇ 参 考 文 献 ◇

- [Clark 07] Clark, W. C.: Sustainability Science: A room of its own, *PNAS*, Vol. 104, No. 6, pp. 1737-1738 (2007)
- [廣田 08] 廣田 健, 古崎晃司, 溝口理一郎: オントロジー俯瞰のための概念マップ生成ツールの開発, 第22回人工知能学会全国大会, 2E302, pp. 1-4 (2008)
- [廣田 09] 廣田 健, 古崎晃司, 齊藤 修, 溝口理一郎: ドメイン知識俯瞰のためのオントロジー探索ツールの開発, 第23回人工知能学会全国大会, pp. 1-4 (2009)
- [井田 07] 井田徹治: ウナギ-地球環境を語る魚, 225 pp., 岩波書店 (2007)
- [Kates 01] Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., McCarthy, J. J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grubler, A., Huntley, B., Jager, J., Jodha, N. S., Kaspersen, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B. III., O'Riordan, T. and Svedin, U.: Environment and development: Sustainability science, *Science*, Vol. 292, No. 5517, pp. 641-642 (2001)
- [Kates 11] Kates, R. W.: What kind of a science is sustainability science?, *Proc. Nat. Academy of Sciences*, Vol. 108, No. 49, pp. 19449-19450 (2011)
- [Klein 04] Klein, J. T.: Interdisciplinarity and complexity: An evolving relationship, *E-CO Special Double Issue*, Vol. 6, No. 1-2, pp. 2-10 (2004)

- [Komiya 06] Komiya, H. and Takeuchi, K.: Sustainability science: Building a new discipline, *Sustainability Science*, Vol. 1, pp. 1-6 (2006)
- [古崎 02] 古崎晃司, 來村徳信, 池田 満, 溝口理一郎: 「ロール」および「関係」に関する基礎的考察に基づくオントロジー記述環境の開発, *人工知能学会論文誌*, Vol. 17, No. 3-B, pp. 196-208 (2002)
- [Kozaki 12] Kozaki, K., Saito, O. and Mizoguchi, R.: A consensus-building support system based on ontology exploration, *Proc. Int. Workshop on Intelligent Exploration of Semantic Data (IESD 2012)*, Oct. 9, 2012, Galway City, Ireland (2012)
- [熊澤 11] 熊澤輝一, 古崎晃司, 溝口理一郎: オントロジー工学によるサステナビリティ知識の構造化, 原圭史郎・梅田靖 編著: サステナビリティ・サイエンスを拓く一環境イノベーションに向けて一, 第13章, 大阪大学出版会, pp. 186-209 (2011)
- [熊澤 12] 熊澤輝一, 上須道徳, 原圭史郎, 木村道徳, 齊藤 修: 分野横断型研究教育における専門家間協働デザインの検討ーサステナビリティ学を事例に, *環境情報科学学術研究論文集*, Vol. 26, pp. 165-170 (2012)
- [Kumazawa 13] Kumazawa, T., Kozaki, K., Matsui, T., Saito, O., Ohta, M., Hara, K., Uwasu, M., Kimura, M. and Mizoguchi, R.: *Initial Design Process of the Sustainability Science Ontology for Knowledge-sharing to Support Co-deliberation*, *Sustainability Science*, Springer (2013 (Online First))
- [Lang 12] Lang, D. J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M. and Thomas, C. J.: Transdisciplinary research in sustainability science: Practice, principles, and challenges, *Sustainability Science*, Vol. 7, Issue 1 Supplement, pp. 25-43 (2012)
- [溝口 05] 溝口理一郎: オントロジー工学, p. 33, オーム社 (2005)
- [長野 12] 長野伸一, 山口高平 編: 特集: *Linked Data* とオントロジー, *人工知能学会誌*, Vol. 27, No. 2, pp. 162-206 (2012)
- [立本 13] 立本成文 編著: 人間科学としての地球環境学-人とつながる自然・自然とつながる人, 298 pp., 京都通信社 (2013)

2013年5月2日 受理

### 著 者 紹 介



熊澤 輝一 (正会員)

1999年東京工業大学工学部社会工学科卒業。2006年同大学院総合理工学研究科環境理工学創造専攻博士後期課程単位取得退学。博士(工学)。2007年より大阪大学サステナビリティ・サイエンス研究機構特任助教。2010年立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構ポスドクトラルフェロー。2011年人間文化研究機構総合地球環境学研究所研究推進戦略センター助教。現在、研究高度化支援センター助教。総合地球環境学とオントロジー工学の融合研究に従事。