

2

社会問題解決のための 知の構造化

堀井 秀之

東京大学大学院工学系研究科

社会問題の解決に知識の構造化を適用した事例をいくつか紹介する。知識の構造化は、問題の全体像を把握し、本質的な問題点を抽出することに役立つ。また、問題解決策の立案においても知識の構造化が大きな役割を果たす。問題解決の知識を類似性に基づいて構造化することにより、さまざまな領域で蓄積された問題解決の知識を有効に活用し、分野を超えた知の活用を実現することが可能となる。異なる分野における問題解決策が、問題はまったく異なっても同じメカニズムによって解決していることが多い。類似性を発見することにより、他の分野における解決知識を活用することができる。分野を超えた知の活用は、社会問題の解決に限ることなく、さまざまな適用範囲を持つ概念である。類似性の評価に資する情報処理技術の発展が期待される。

情報の価値化・知識化技術と知の構造化

「情報の価値化・知識化技術」は文字通り、情報から価値や知識を生み出す技術である。「知識」も何らかの価値を生み出すためのものであると考えれば、価値の創出が考えている技術の本質であるといえる。価値の構造化に関する研究は古くからなされているが、価値は経済的価値、理論的価値、審美的価値、宗教的価値、社会的価値の5種類に分類できるとの説が知られている。「情報の価値化・知識化技術」が対象とするのは、多くの場合、経済的価値であろう。しかし、社会的価値を生み出すことも「情報の価値化・知識化技術」に期待することができる。ここでは、社会問題の解決という社会的価値につなげるために、どのような「技術」が考えられるかを論じたい。

情報の価値化・知識化技術と知の構造化は親和性の高い概念である。知識は爆発的に増大し、そのままでは活用することができない状態になってしまった。膨大な知識を活用するために、知識の構造化は必然である。同様に、情報を価値につなげるために、何らかの形で構造化を行うことは有効である。「知識」という概念をここでは緩やかにとらえ、法則や理論のような形として昇華したものだけでなく、「情報」のレベルのものも含めることとし、「知識」や「情報」を含めて広い意味で「知」と呼ぶこととすれば「知の構造化」は、漠然としたものではあるが、さまざまな分野における多くの事例を包含し得る一般性の高い概念となる。

「価値化」に主眼を置くとすると、知を構造化する技術

だけでなく、構造化された知を活用する技術も重要になってくる。検索と検索結果の可視化・表示は、構造化された知の活用技術の代表例であるが、活用技術はこれらに限られるものではない。構造化された知の活用技術としてどのようなものがあるのかということは、まさに研究対象であり、どのような活用を行うかということから、逆にどのような構造化が求められるかが決まることも考えられる。

情報処理技術は、知の構造化に対しても、構造化された知の活用に対しても有力な手段を与えるものである。しかし、現在の情報処理技術で可能な知の構造化、構造化された知の活用は限られている。「価値化」の要請に応えるためには情報処理技術のさらなる発展が望まれる。本稿では、情報処理技術によって、どのような知の構造化、構造化された知の活用が可能になるかを論ずるのではなく、情報処理技術からは少し離れるが、社会問題の解決のために、どのような技術が求められるのかを論じたい。ここでの議論から情報処理技術の発展の方向が示唆されれば幸いである。

知識の構造化と構造化された知識の可視化

知識の構造化とは、知識と知識の関係を明らかにし、その関係を表示することである。知識と知識の間には、階層性や関連性などさまざまな関係がある。突き詰めて考えれば、膨大な知識を表-1のような表に整理して、個々の知識の間にある関係を表の対応部分に書き込む作業が知識の構造化である。

	知識 1	知識 2	……
知識 1			
知識 2			
……			

表-1 知識構造の表現

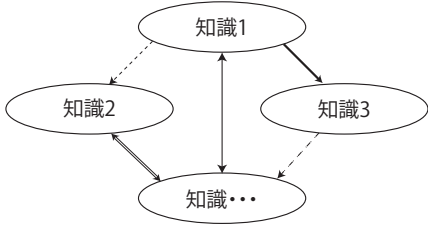


図-1 構造化された知識の可視化

要するに、構造化された知識の可視化とは、この表で表される知識間の関係を視覚的に表示することである。表によって規定された知識間の関係は、図-1のようなグラフ構造すなわちノードとノードを繋ぐ線で表すことができる。知識と知識の関係を示す矢印の向きや、線の種類、太さによって表現することが考えられる。

解決困難性の構造

我々はさまざまな社会問題を抱えているが、社会問題の解決は一般的に困難であり、類似の問題が繰り返し発生している。どうして問題の解決が困難なのかを分析した結果を図-2に示す。この図は以下のような因果関係を表している。「問題が複雑である」ために、「全体像の把握が困難」で、「問題解決が困難」である。あるいは「問題が高度」であるために、「専門領域が細分化」され、「全体像の把握が困難」なため「問題解決が困難」である。「問題が高度」であるために、「情報の非対称性」が大きく、「社会的合理性の確定が困難」で、「問題解決が困難」である。「価値の多様化」によって、「社会的合理性の確定が困難」だから、「問題解決が困難」である。

図-2は、社会問題解決の困難性の要因を因果関係に基づいて構造化し、その結果を可視化したものである。この作業から、問題解決の困難性の根源的な要因が、問題の複雑化、問題の高度化、価値の多様化にあることが導かれる。また、問題の解決のために、どの要因に対処すれば、問題解決にどのように寄与するかを判断することができる。これは構造化された知識の活用の一例といえよう。

本質的な問題点の抽出

図-2に示された通り、問題の複雑化、専門領域の細

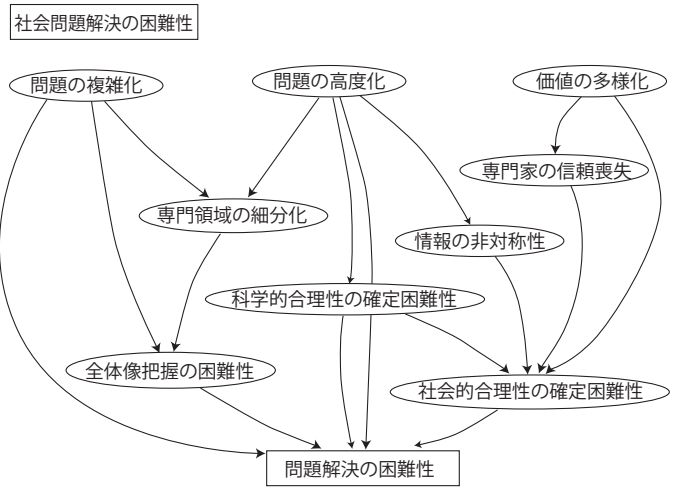


図-2 社会問題解決の困難性の構造

分化は問題解決を困難にしている根源的な要因である。複雑な社会問題を解決するためには、知識の構造化がきわめて重要な手段になる。

地震防災の問題を取り上げよう。地震防災問題に関してどのような問題点、課題があるのかをリストアップした。膨大な知識の典型的な例である。約1,000の項目があり、それらの項目を、社会経済システムにかかわること、行政にかかわること、人工物にかかわること、社会一般にかかわること、などに分類し、階層性を中心に項目間の関係を分析することにより、項目間の関係を視覚化した。自分の関心のある項目をクリックすると図-3に示すようにコーンツリーといわれる図が現れ、知識と知識の関係が階層性に基づいて表示される。

さらに知りたい知識を選びボタンをクリックすると、図全体が回転して知りたい知識が一番手前に表示され、さらにその周辺を拡大表示して、関連性の強い知識群がどのような関係にあるのかを知ることができる。それぞれの知識のタイトルをクリックすると説明が出て知識の内容が把握される。このような操作を通じて、知識と知識の関係を認識し全体像を把握することにより、最も重要な問題点は何かを抽出することができる。

地震防災の例では、生命にかかわるキーワードで検索をかけ、関連する知識の探索結果として「死亡推定時刻」に関する知識にたどり着く(図-4)。阪神淡路大震災での死亡推定時刻に関する報告から、震災後15分の間に90%を超える方が命をなくしたことが分かる。このことから、どんなに優秀で迅速に対応できる救援チームを持っていても、多くの方々の命を救うことは難しいことが分かる。

それではどうすべきかと、周辺の知識群を眺めてみると、既存不適格住宅の解消が重要であることが見えてくる。既存不適格住宅を解消するためには、耐震性能の低い古い住宅に住んでいる方々がリスクを認識して、建て

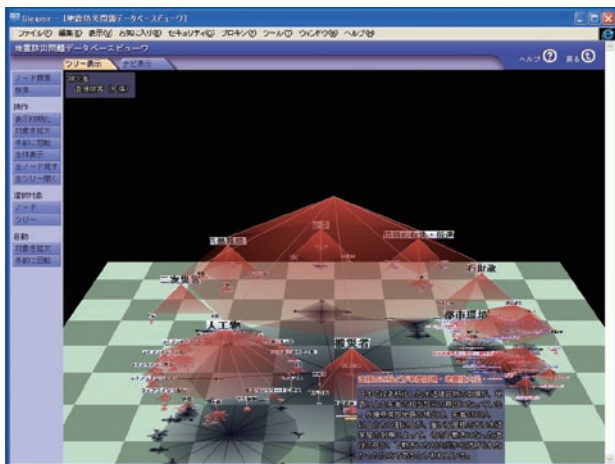


図-3 コーンツリーによる知識の可視化

替えや補強を決意することが必要である。

次にどうすれば既存不適格住宅の所有者が自ら資金を投じて建て替えや補強を決意するだろうか……，というように社会問題に対する解決策を探していくことになる。社会問題の分析，本質的な問題点の洗い出しが，構造化された知識を可視化した，コーンツリーというツールを使って促進されるのである。

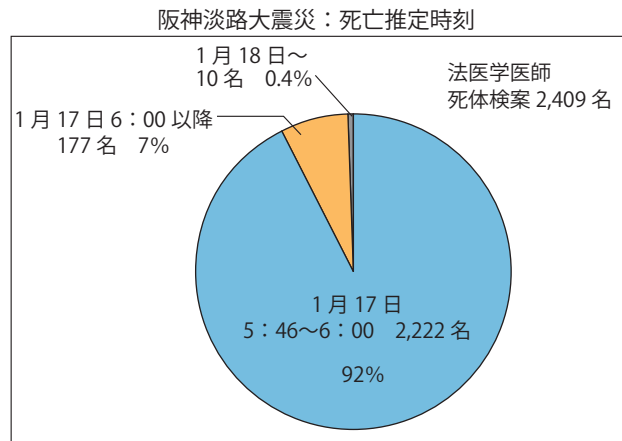
解決策の立案

次は，問題に対する解決策を見つけ出すときに知識の構造化を使う具体的な例である。問題解決の知識はさまざまな分野で蓄積されている。その膨大な知識を活用するためには，知識の構造化が有効である。

リスクの特性からそのリスクに対する最適な対策を見出すことを試みた。近年，新興感染症やテロ，情報セキュリティ等，過去にあまり経験のなかった新たな脅威が現れている。そのような新たなリスクに対して，どのような対策が効果的か，あるいはどのような技術開発が望ましいか，解決への最適な筋道を見つけ出す方法が求められている。

リスクに対して最適な対策はどうすれば見つかるか，あるいはすでにさまざまな努力がなされて成果をあげてきた既存の安全分野において，革新的な問題解決につながるブレークスルーはどうすれば生み出されるのか，そのリスクに対応する行政などの責任主体が自らの説明責任を果たす上でどのような手法に基づいて対策を選べよいか。このような問題意識に基づき，リスク・マネジメントの方法論を構築するという視点から，リスクの特性と対策の対応関係を見つけだすことを試みた。

まずは新聞などから「脅威」や「不安」というような，リスクにかかわる言葉を含む記事を自然言語処理でリストアップした。「JCOの臨界事故」「化学プラントの爆発」「エイズ」あるいは「リストラ」「放火」まで人々が不安を感じ



出典) 阪神淡路大震災誌 (朝日新聞社編)

図-4 本質的な問題点に関する知識

るさまざまな具体的な事柄があげられる。それらの不安を喚起する事柄の特徴は何か，その特徴がうまく抽出できるような基準を選び，リスク特性を比較できるようにする必要がある。頻度，その事象が起こる地域の予測可能性，被害者数の規模，肉体的な被害の可能性，未知性の高さ，社会に対して恐怖感を持つか，人為的か自然的か，というような評価項目を選んだ。

それぞれの分野の専門家にインタビューを行い，それぞれの事象に対してリスク特性に関するそれぞれの項目について5段階の評価をしていただいた(表-2)。こうすることで，それぞれのリスクはベクトルで表現される。

それを自己組織化マップによって平面状にマッピングしたのが図-5である。自己組織化マップとは，Kohonenによって開発された大脳皮質の神経機能をモデル化したニューラルネットの一種である。多次元のデータを2次元に写像することが可能であり，多次元のデータを予備知識なしでクラスタリングすることが可能である。図-5は，リスクの特性の類似性に応じてリスクを構造化して，それを2次元平面状に投影したことを意味している。たとえば，この図から食品のダイオキシン汚染と，電磁波による発病とはリスク特性という観点から類似性の高いリスクであることが分かる。さらにクラスタリング分析によって，ここに現れたリスクは3種類のリスクA，B，Cに分類された。

次に，対策についても同様の操作を行う。それぞれのリスクに対してとられる対策は非常に多岐にわたるが，それを上位概念で整理する。未知の被害メカニズムの解明がそのリスクに対して効果的か，というように，具体的な対策を抽象的に捉え，その有効性を評価する。ハード面の強化，被害防止手段の導入，被害に対する保険制度の充実など，さまざまな対策を上位概念としてリストアップし，各分野の専門家にそのリスクに対してそれぞれの対策が効果的か，重要かという評価をいただいた。

このようにして，有効な対策という側面から各リスク

	頻度	地域の予測	被害者数	被害者層の偏在度	肉体的被害	財産的被害	未知性	恐ろしさ	人為的	自然的
JCO臨界事故	1	5	1	1	5	1	5	5	5	1
化学プラントの爆発	1	5	5	1	5	4	2	5	5	1
薬害エイズ	1	1	3	5	5	1	5	3	5	1
医療・投薬ミスによる死亡	5	1	1	3	5	1	3	3	5	1
巨大地震時の建物倒壊による死亡	1	5	5	4	5	5	1	5	1	5
巨大地震時の火災による死亡	1	3	5	3	5	5	1	5	3	5
リストラ	5	1	2	5	1	5	1	1	5	1
幼時虐待	5	1	1	5	5	1	1	3	5	1
交差点における歩行者事故	5	3	1	4	5	1	1	3	5	1
電磁波による発病	1	2	1	1	5	1	5	3	4	1
食品ダイオキシン汚染(廃棄物)	1	4	1	1	5	1	5	2	4	1
遺伝子組み換え食品	1	1	1	1	5	1	5	3	5	1
狂牛病	1	1	1	1	5	1	5	3	4	1
放火	5	1	2	1	1	5	1	5	5	1
オウム真理教テロ	1	1	5	1	5	1	3	5	5	1
個人情報漏洩	5	1	5	1	1	5	5	2	5	1
ビル火災	3	1	3	1	5	5	1	5	4	1
農業による食品汚染	3	1	3	1	5	1	3	2	5	1
食中毒	3	1	2	4	5	1	3	4	4	2
浸水被害	1	5	5	1	2	5	1	3	1	5
土砂災害	1	5	5	1	2	5	1	5	1	5

表-2 リスクの特性分析

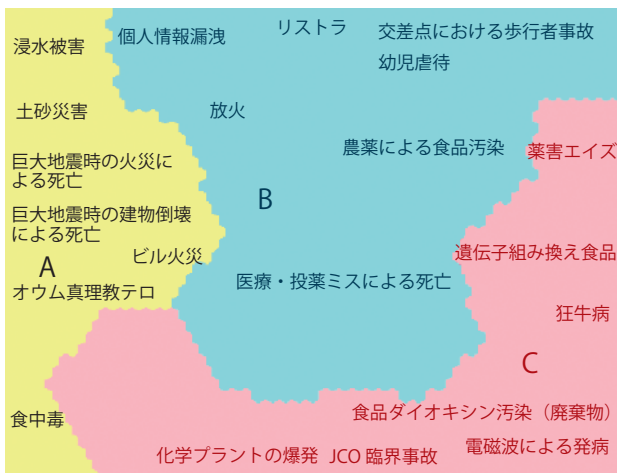


図-5 特性によるリスクマップ



図-6 対策によるリスクマップ

はベクトル化される。リスク特性に基づく場合と同じように、今度は有効な対策に基づいて、自己組織化マップにより各リスクは平面上にマッピングされる。類似した対策が効果的であるリスクが近傍に表示される。この場合も、クラスタリング分析の結果、3種類のリスクに分類された。それが対策Dのタイプ、対策Eのタイプ、対策Fのタイプのリスクである(図-6)。

特性によるリスクマップと、対策によるリスクマップの2つができたが、リスクの特性と適切な対策には対応関係があるはずなので、2つのマップを重ねてみると、なんらかの関係が見えてくるはずである。実際、図-7に示す通り、特性タイプがCのリスクは対策タイプDのリスクと重なり、特性タイプAのリスクは対策Eが有効なリスクとほぼ重なるという対応関係が見出された。これが意味することは、たとえば土砂災害、巨大地震、浸水、ビル火災のような低頻度で、被害が甚大で、自然

による、恐怖感を伴うようなリスクに対しては、ハード面の強化、対策への助成・優遇措置、保険制度の充実という対策が有効であるということである。一方、遺伝子組み換え食品、ダイオキシン、JCO、薬害エイズ、狂牛病などは、低頻度で小被害、人為的、未知性が高いという特性のリスクだが、こちらには安全性評価の科学的な情報提供・説明、あるいは被害メカニズムの解明、ソフト面の強化、規制、市民の意思決定への参加というような対策が効果的であることを意味している。

リスク空間における特性に基づく構造と有効な対策に基づく構造の間に存在する対応関係を見出すことができた。この対応関係の活用方法を考えてみよう。未知のリスク、すなわち有効な対策が何かまだ経験的に分かっていないリスクに対して、そのリスクの特性を調べてリスクの特性マップ上にマッピングすれば、大体どのような対策が有効か知ることができるだろう。

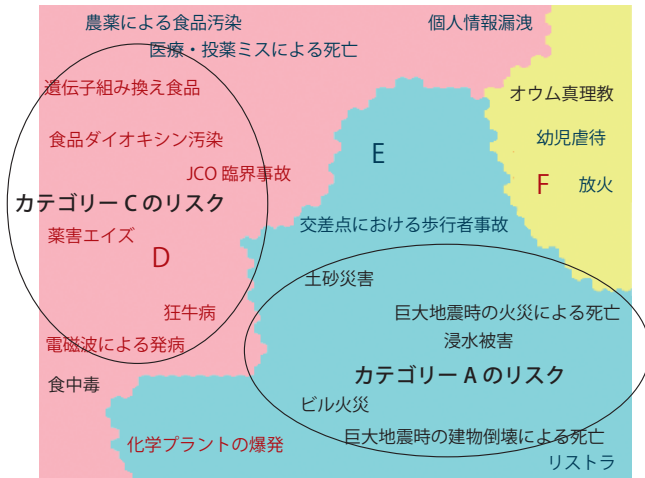


図-7 リスク特性と有効な対策の対応関係

また、ある分野で非常に効果を上げた新たな対策が提案されたときに、それが他の分野に適用できるか、どのような分野でそれが有効になるかをリスク特性マップから導くことができる。つまり、ある分野での成功事例を他分野に波及させることで、ブレークスルーが生み出される可能性がある。

リスク特性と有効な対策のマッピングの対応関係を使って、新興感染症対策に有効と考えられる既存の対策を捜してみた。リスクの特性を比べると、新興感染症とJCOの臨界事故が近いということから、原子力施設の事故対策のために開発されたSPEEDIというシミュレーション・システムの応用を検討してみた。SPEEDIは、放射能が大気中に漏れ出すような緊急時に、放射能の影響がどのように広がってゆくかを迅速に予測するシステムである。新興感染症では、感染症の発生したときの感染源、人やモノならびに情報の流れが感染の拡大に大きく影響する。そのような流れをシミュレートするシステムの整備が有効な対策の1つであることが導かれた。調べてみると、実際に新興感染症対策のシミュレーション・システムが開発されていた。この事例は、新たなリスクに対する対策を特性と有効な対策の対応関係から見出す可能性を示していると考えられる。

リスクの特性に基づいたリスクの構造と、有効な対策に基づいたリスクの構造を対応付けることで、リスクの特性と有効な対策の関係を見出した。このプロセスは、解決策の設計において、解決策の発想・立案を支援するものである。ここでは、リスクの特性と有効な対策の間の対応関係を経験に基づいて見つけ出した。リスクの特性とその対策がなぜマッチするのか、その対応関係のメカニズムを見つけて出せば、それは形式知としての知識を創造したことになり、それをさらに普遍化・一般化すると、最適な解決策を設計するための新たな知識に結びついていくのかもしれない。

類似性に基づく構造化：分野を超えた知の活用

知識の構造化が、問題解決の上で一体どう役立つのか。1つは問題の全体像を把握し、本質的な問題点を抽出することに役立つだろう。また、最後の事例が示す通り、問題解決策の立案においても知識の構造化が大きな役割を果たすことが期待される。

さまざまな領域で蓄積された問題解決の知識を有効に活用するためには、すなわち、分野を超えた知の活用を実現するためには、問題解決の知識を類似性に基づいて構造化することが必要である。異なる分野における問題解決策が、問題はまったく異なっても同じメカニズムによって解決していることが多い。他の分野における解決知識を活用するためには、それらの類似性を発見することが必要である。

最後の事例では、リスク特性と解決メカニズムに対する評価項目を設定し、専門家による点数付けによってベクトル化した。そのベクトルの距離によって類似性を評価したことになる。類似性の評価方法には工夫が必要であり、情報処理技術の活用が求められる。専門家に依存する部分をできる限り減らすこと、あるいは、専門家の作業を支援することが情報処理技術に期待される。

本稿では、社会問題の解決に知識の構造化を適用した事例をいくつか紹介した。少ない事例ではあるが、社会問題の解決という社会的価値の創出において情報・知識の構造化が有効な手段を与えることが示唆された。特に、分野を超えた知の活用は、社会問題の解決に限ることなく、さまざまな適用範囲を持つ概念である。分野を超えた知の活用を可能とするものが類似性に基づく情報・知識の構造化である。類似性の評価に資する情報処理技術の発展を大いに期待したい。

参考文献

- 堀井秀之編：安全安心のための社会技術，東京大学出版会（Jan. 2006）。
- 堀井秀之：問題解決のための『社会技術』，中央公論新社（Mar. 2004）。
- 山口健太郎，白戸 智，堀井秀之：社会問題解決策の立案に資する分野横断的な知識活用手法の検討，社会技術研究論文集，第3巻，pp.186-195（2005）。
- 山口健太郎，船戸康徳，藤代一成，堀井秀之：社会問題の解決に資する事実の明示化手法の構築，社会技術研究論文集，第1巻，pp.9-15（2003）。

（平成19年6月10日受付）

堀井 秀之 horii@civil.t.u-tokyo.ac.jp

昭和55年東京大学工学部土木工学科卒業。昭和56年ノースウェスタン大学大学院修士課程修了。昭和58年同大博士課程修了，Ph.D.（土木工学）。同年同大ポスドクトラルフェロー。昭和60年東京大学工学部土木工学科専任講師。昭和61年同大助教授。平成8年同大学院工学系研究科社会基盤工学専攻教授，現在に至る（現在は社会基盤学専攻）。