

1 知識マイニング技術による環境リスク管理スキル標準の開発

Skill Standard Development for Environmental Risk Management by Knowledge Mining Technology

松井孝典¹・岡野雅通²・加藤悟³・齊藤修⁴・盛岡通⁵

Matsui Takanori, Okano Masamichi, Kato Satoru, Saito Osamu and Morioka Tohru

抄録：都市における産業活動に伴う環境負荷に対して未然対応的に対応するためには、環境リスク管理能力を有したスペシャリストである環境リスクマネージャを育成することが重要な課題となる。この課題を受けて、大阪大学大学院工学研究科では「環境リスク管理のための人材養成」プログラムと称する育成プログラムを実践し、環境リスクマネージャの養成と教育・学習システム・コンテンツのモデル化を試みている。そこで本研究では、教育・学習のための人材像である「環境リスク管理スキル標準」の開発を目的として、プログラムにおいて教授される講義コンテンツに対してデータマイニング技術を適用し、環境リスク学に関わる知識・概念構造を視覚化してスキル標準の改良を行った。

Abstract: Training of Environmental Risk Manager is important problem for the society to build ability to response environmental impact caused by urban industrial activity. “Environmental Risk Manager Training Program” of Osaka University tries to develop Environmental Risk Manager and the skill standard. In this research, we apply knowledge mining technology to lecture contents to improve Environmental Risk Manager Skill Standard.

キーワード： 環境リスク，リスクマネージャ，スキル標準開発，データマイニング，知識発見

Keywords : Environmental Risk, Risk Manager, Skill Standard Development, Data Mining, Knowledge Discovery

1. 環境リスクマネージャ教育の展開とスキル標準

(1) 環境リスクマネージャの育成

持続可能な人間環境システムの構築には、都市産業活動から得られる便益の恩恵を受け一方で、その活動に伴う環境負荷をリスクレベルで未然的に対応するための適応力を高めなければならない。このための手段として、個人およびその集合体としての社会が不確実性に対応するためのリスク対応知を創造・継承し、適応型のマネジメントを実践する能力を備えることは極めて重要な意味を持つ。この問題意識から大阪大学大学院工学研究科では文部科学省の支援を受けて平成16年度より「環境リスク管理のための人材養成」プログラムと称する教育プログラムを展開している¹⁾。本プログラムのミッションは、環境リスク管理を実践できる環境リスクマネージャを養成して世に輩出すること、およびプログラムで得られた経験を定式化して後続の環境リスク管理教育プログラムへと伝承することである。プログラムでは平成19年度現在で図-1および付録に示した15の講義と2つの演習・研修からな

る教育カリキュラムを運営している。ここでは第一線のリスク学研究者が講師を担い、産官学の多様なセクターに所属する社会人・大学院修士課程が受講生として参加している。プログラムの最大の特徴は、講師の持つ環境リスク対応知の理論的な体系と、社会人受講生が有する現場の実践的なリスク対応知の蓄積の重ね合わせにより、理論と実践が融合した新たな環境リスクマネージャ養成モデルの構築をめざしている点である。

環境リスク管理教育のカリキュラム構成、環境リスク管理スキル標準、社会ニーズ発掘とキャリアパス開発、環境リスク管理に関する教材開発など、新たな環境リスク対応知の発見と体系化をめざしている。

(2) 環境リスクマネージャのスキル標準

リスクの定義が「リスク三重項」として「シナリオ」、「確率」、「ダメージ」の3つの概念で表されることからわかるように²⁾、環境リスクマネージャには、まだ生起していないリスク事象を見抜いて、その事象が生起した場合にはどのような現象が起こりうるか、その事象がどの程度の頻度で起こり、どの程度のダメージが生じうるかを、未然防止的に評価してリ

1 : 正会員 博(工) 大阪大学 特任助教 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1, Tel :06-6879-4733, E-mail : matsui@see.eng.osaka-u.ac.jp)

2 : 正会員 博(工) 大阪大学 特任准教授 工学研究科環境・エネルギー工学専攻

3 : 正会員 博(学術) 大阪大学 特任講師 工学研究科環境・エネルギー工学専攻

4 : 正会員 博(農) 大阪大学 助教 工学研究科環境・エネルギー工学専攻

5 : 正会員 工博 大阪大学 教授 工学研究科環境・エネルギー工学専攻



図-1 カリキュラムの体系

スク管理を実践する能力が求められる。そこで本プログラムでは環境リスク学の教育方針を定め、また環境リスク学習における目標像としてスキルの修得を支援する「環境リスク管理スキル標準」の開発を進めている。図-2には現段階までに開発されたスキル標準のプロトタイプ概念図を示した。ここでは環境リスクマネージャが持つべき能力を3つの次元で定義している。第1に、図-2の上方にある環境リスクの分析・評価・対応・伝達・制度運用の各対応行動から構成される「技能力」がある。第2には、これらの技能について理念を理解するレベルから様々な要因を考慮しながら多面的統合的に実践するレベルまでの錬度と成熟度を既定する「実践力」を設定している。これら2つは主として環境リスクマネージャの持つ知識とスキルの側面に相当する。そして第3の次元として、図-2下方にあるように、自らリスクを発見して論理的・構造的に理解し、知識とスキルを運用して問題解決に当たるための知恵の側面を意味する「人間力」を規定している。環境リスクマネージャはこれら3つの力を統合して環境リスク管理にあたりと考えている。既に情報通信技術関連分野では情報技術のプロフェッショナルの育成・訓練のための能力の共有枠組である「ITスキル標準」³⁾、「組み込みスキル標準」³⁾、「バイオインフォマティクススキル標準」などが構築されており³⁾、研修のロードマップなどに活用されて普及活動が推進されている⁴⁾。同様に、環境リスク対応力を確実に社会に根付かせる上で環境リスクマネージャとしての成熟度を明示的に既定し、めざすべき人材像を社会で共有することは極めて意義が大きい。

(3) 本研究の目的

図-2に示したスキル標準は環境リスク管理関連の文献調査を通じて得られた知見に基づいて平成18年6月までに開発されたものである⁵⁾。これをより高度なものにするためにはPDCA(Plan-Do-Check-Act)サイクルに基づく継続的改善が不可欠であろう。この背景から本稿では、プロトタイプ公表以降に得られた知見を利用してモデルの改善をめざす。特に運営中の講義

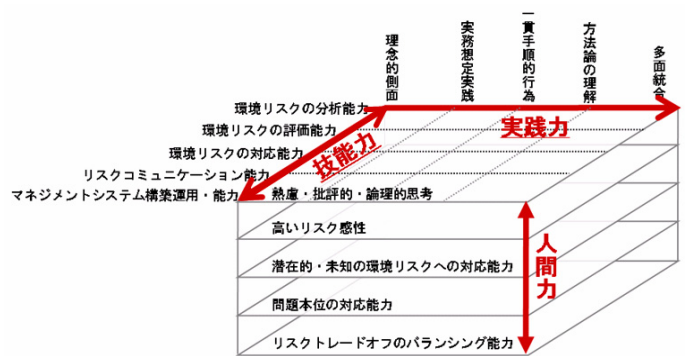


図-2 「環境リスク管理のスキル標準」の概念図

には環境リスク研究の最新知見や講師陣の経験・知識などの貴重な情報を含むと考えられるため、本稿では講義コンテンツに対してデータマイニング技術を適用してスキル標準の改良のための知識抽出と構造化を実施する。研究者と実務家が運営する講義に埋め込まれた理論と実践の知をボトムアップ的に抽出してスキル標準に反映させることで、より高度な環境リスク管理のためのスキルを明示し、知識共有を支援できると期待される。

2. データマイニングによる知識抽出の概要

(1) テーラーメイドラーニングシステムの開発

はじめに、データマイニングの対象となる講義コンテンツとデータベースに関して概観する。先述したように環境リスクマネージャに期待される能力は、リスクを見抜くためのリスクマインド、それに対応するためのアセスメント、コミュニケーション、マネジメント能力など多岐にわたる。そのためプログラムでは環境リスクマネージャがリスク対応の知の体系を構造的に理解することを支援するために、知的情報処理技術を活用したeラーニングシステムの開発を進めている。紙面の都合により本システムの詳細解説は先行文献^{6),7)}に譲り、ここではeラーニングシステムが持つ機能で本稿の解析に関係する部分のみを紹介する。

このシステムの持つ機能の一つとして、講義コンテンツ間の意味的リンク機能がある。この機能は動画形式の講義コンテンツにおいて、その実体で教授されている内容の特徴をメタ情報としてタグ付け(アノテーション)することで、他の動画コンテンツやweb情報へのハイパーリンク機能を持たせるものである。この機能を利用することで学習者は視聴しているテーマに関連する種々なオブジェクト間をリンク可能となっており、テーマについての多面的な理解と周辺知識との連結を促進すると期待される。図-3、図-4にはハイパーリンク機能の表示例を示している。図-3は動画コンテンツのビューアに対して現在の動画オブジェクトに



図-3 メタ情報の表示例

関係する概念語の問い合わせを行っている状態である。この実体では「環境ホルモン」、「健康リスク」などのアノテーションが行われている。図-4はこのうち「健康リスク」についての関連オブジェクトを問い合わせた際のシステムの応答例であり、ここではアスベストや難燃剤などの健康リスクに関するオブジェクトへのリンクのリストが示されている。またシステムはWEB空間へのリンク機能も持っており、本プログラム内の動画だけでなくWEB上に存在するテキスト・画像などの関連オブジェクトを参照することができる。近年では意味検索機能を持ったwebであるセマンティックウェブの実現に向けて⁸⁾、対象領域の意味構造のモデリング手法であるオントロジー構築技術^{9), 10), 11), 12)}やメタデータ技術・アノテーション技術の開発が急速に進んでおり^{13), 14)}、本システムはこれらの技術の教育への応用のモデルケースの一つとなりうる。

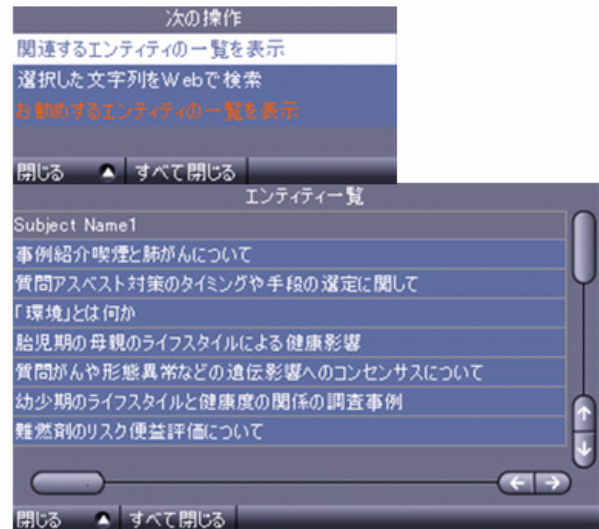


図-4 オブジェクトリンク機能の表示例

(2) アノテーションデータベースの概要

動画にアノテーションを行うことでシステム内には環境リスク学を構成する要素概念に関するアノテーションデータベースが構築される。このデータベースには図-5に示すようなレコードが蓄積される。「どの講義(lecture)の、どの実体(entity)が、どのテーマ(subject)について、どの概念語(element)を、どういう値(element value)で含んでいるか」を属性化するリレーショナル・スキーマとなっている。2007年5月現在でプログラム15講義2演習中11講義の解析が終了しており、この時点で総entity数1,474(平均11分15秒/entity), element種別数4,495, 延べelement数13,068が抽出されている。本稿ではこのレコード群を対象としてentityやelementの発生頻度や共起関係のデータを解析することでスキル標準を改良するための知識抽出を行う。なお現段階で解析が終了している講義は一部であるため、ここで示す結果は最終版でなく部分集合であることを付記する。参考として、解析に用いた11科目のデータベース情報を表-1に示す。

Element	Element No	Name	Type	Subject	Value	Entity
	02456	ミス	L	講師A・講義2・……	がある場合	http://www.risk.osaka-u.ac.jp

Attribute	Attribute No	Name	Value
	00006	事故	が発生する

○事実分類用タグ	
Element	エレメント
Element No	エレメント番号
Name	編集者が命名するエレメント名称
Type	論理型(L)、数値型(N)、時間型(T)
Subject	編集者用解説および具体的分類
Value	値(論理型、数値型、時間型)
Entity	エンティティのファイル名または実行ファイル名

○共有分類用タグ	
Attribute	属性
Attribute No	属性番号
Name	属性名称
Value	値(全てシンボルとして扱う)

図-5 アノテーションデータベースのデータ例

表-1 各講義科目に含まれる entity および element 情報

	GRP	RMS	AER	CRA	HRA	PO	PRA	DM	RC	RBA	ERA
entity数	279	401	42	145	25	100	116	126	107	89	44
element種別数	1,376	842	422	657	94	420	717	651	1,286	399	223
延べelement数	2,995	1,786	604	1,151	167	914	1,273	1,037	1,993	773	343
element/entity	4.9	2.1	10.0	4.5	3.8	4.2	6.2	5.2	12.0	4.5	5.1

GRP:グローバル・リスク政策論, RMS:リスクマネジメント・システム論, AER:大気曝露リスク評価, CRA:化学物質の環境リスク評価, HRA:健康リスク評価, PO:プラントオペレーション・リスク論, PRA:確率論的リスク評価, DM 技術リスク意思決定論, RC:リスクコミュニケーション論, RBA:リスク便益分析, ERA:生態リスク評価

3. 環境リスク管理のための知識抽出

(1) 知識抽出方法の概要

知識抽出にはデータマイニングにより可視化した知識構造を基に解釈と調整を繰り返して知識発見を行うプロセスを採用する。これは「二重らせんモデル」と呼ばれる知識発見技術¹⁵⁾に相当する構成論的アプローチである。データマイニング手法には共起関係によるクラスタリング技術を用いている。例えば図-6は各科目がどのようにネットワーク化されているかを図にしたものであり、ここではアノテーションデータベース内で「lecture:生態リスク評価」「element:曝露解析」「lecture:化学物質の環境リスク評価」のように、各科目がelementを介して連結している状態を共起関係のデータ解析によりグラフ構造にしたものである。図中の頂点(ノード)は各科目を表し、ノードのサイズは科目に含まれているelement数を表している。科目間は枝(アーク)により連結されており、アークの太さは検出された共起数を反映している。

共起性の解釈について、今、element W が出現したレコード数を $n(W)$ 、そのレコード中で element W_i と W_j が同時に出現したレコード数を $n(W_i, W_j)$ とした場合、分析対象のデータセット中に出現した全ての単語の組み合わせ (W_i, W_j) に対して、以下の2つのパラメータを定める。

$$\text{信頼度} \quad P_{ij} = \frac{n(W_i, W_j)}{n(W_i)} \quad (1)$$

$$\text{共起ルール数} \quad C_{ij} = n(W_i, W_j) \quad (2)$$

信頼度はその共起事象の起こりやすさ、共起ルール数は発生頻度の大きさを意味している。解析ではこの2つのパラメータ P_{ij} および C_{ij} を調整パラメータとして抽出される概念の大きさ(粒度)が決定される。パラメータは分析対象となるデータサイズと解釈の容易性に依存して変化するため、以下の分析群は統一的なパ

ラメータではない。参考までに図-6で示した科目間ネットワークは

$$\text{信頼度} \quad P_{ij} \geq 0.1 \quad \text{以上} \quad (3)$$

$$\text{共起ルール数} \quad C_{ij} \geq 5 \quad \text{以上} \quad (4)$$

で調整されている。なお、アークが繋がっていない科目間には連結関係が全く存在しないわけではなく、概念の共有度が低いことを意味する。また分析で利用するアノテーション情報は、例えば「リスク管理」と「リスクマネジメント」のように同一概念について異なった表現が用いられる場合もあるため、統計解析の事前段階で環境リスク関係の事典を参照して^{16), 17)}、ノイズ情報の排除と語彙の揺れを調整した。解析ソフトウェアは数理システム:Text Mining Studioを利用した¹⁸⁾。

(2) 分析1: 科目間のグラフ構造分析

はじめに、科目間の連結構造をクラスタリングした結果を図-6に示す。ここに示されるように、解析に投入した11講義は3つのクラスタ C に大別された。このクラスタリングにはネットワークの分割の良さの指標である modularity (Q) を用いている^{19), 20)}。これはクラスタ間とクラスタ内のリンク数を計算してクラスタ内リンクの割合が高くなる分割を採用する指標である。

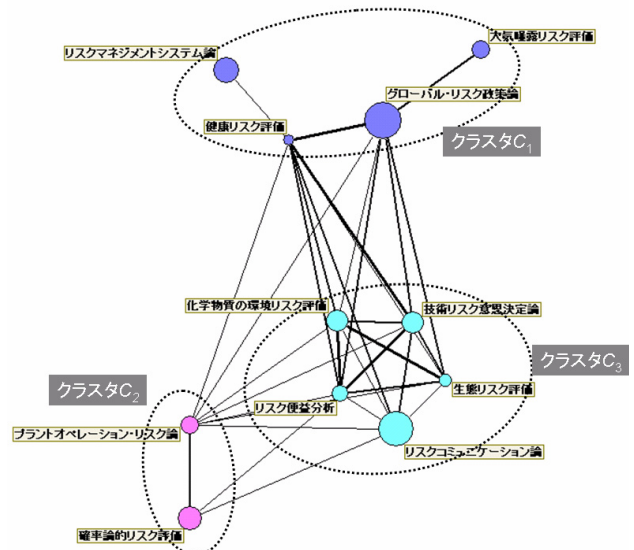


図-6 科目間のネットワーク構造

まず、図-6 上方の第1クラスは、 $C_1 = \{ \text{グローバル・リスク政策論(7), 大気曝露リスク評価(1), 健康リスク評価(8)} \}$ から構成されている。これらの科目は二酸化炭素や汚染物質の排出・曝露量評価とその健康影響を取り扱う科目群であることから、主にリスクの持つ影響的側面を取り扱う「環境リスク評価クラス」と解釈できる。つぎに図-6 右下の第2クラスは、 $C_2 = \{ \text{確率論的リスク評価(3), プラントオペレーション・リスク論(8)} \}$ から構成されており、この2科目はリスクの確率論的な側面を扱う科目であることから「確率論的リスク評価理論クラス」と解釈できる。最後の図-6 左下の第3クラスは、 $C_3 = \{ \text{リスクコミュニケーション論(7), リスク便益分析(8), 技術リスク意思決定論(7), 化学物質の環境リスク評価(7), 生態リスク評価(7)} \}$ となっており、法的・経済的要因などのトレードオフ関係を含めた判定であるリスク総合判定や、意思決定、コミュニケーションに関わる「リスク対応実践クラス」と解釈できる。()内の数値はノードを形成する各科目から他のノードに対して出ているアークの本数(次数)を表している。つまり次数が大きいほど他の多くの科目との関連が強い基幹科目であり、アークが太いほど科目間の関連性が強いことを意味する。本分析の結果ではクラス C_3 を中心としな

がらクラス C_1, C_2 の一部科目と強く結びつく傾向が示され、環境リスクマネジャの育成には、リスク総合判定、意思決定、コミュニケーション等に関連する「リスク対応実践能力」を中心に養成し、これを「リスク分析・評価能力」の開発と連動させることが重要な課題であると示唆される。

(3) 分析2：基幹科目群に対する重要概念の抽出

次に、より詳細な概念粒度で知識抽出を行うために element レベルでどのような概念が重要な役割を担っているかを分析する。ここでは「entity：技術リスク意思決定論の1実体」「element：シナリオプランニング」「element：予防原則」のように、各 entity とその entity に紐付けられている複数の element の共起関係を分析した。図-7 は(1)において抽出された基幹科目群クラス C_3 に属する5科目内での重要 element および科目間での element の共有状況をグラフ構造にしたものである。図-7 右下周辺には、化学物質の曝露から健康影響・生態系影響までの一連の流れを統合して評価する「化学物質のリスク評価論」および「生態リスク評価」、図-7 左上には、得られた健康リスク評価結果を貨幣ターム等で便益換算して判定する「リスク便益分析」、図-7 左下には、これらで評価・判定されたリスクの対応についていかにすれば質の高

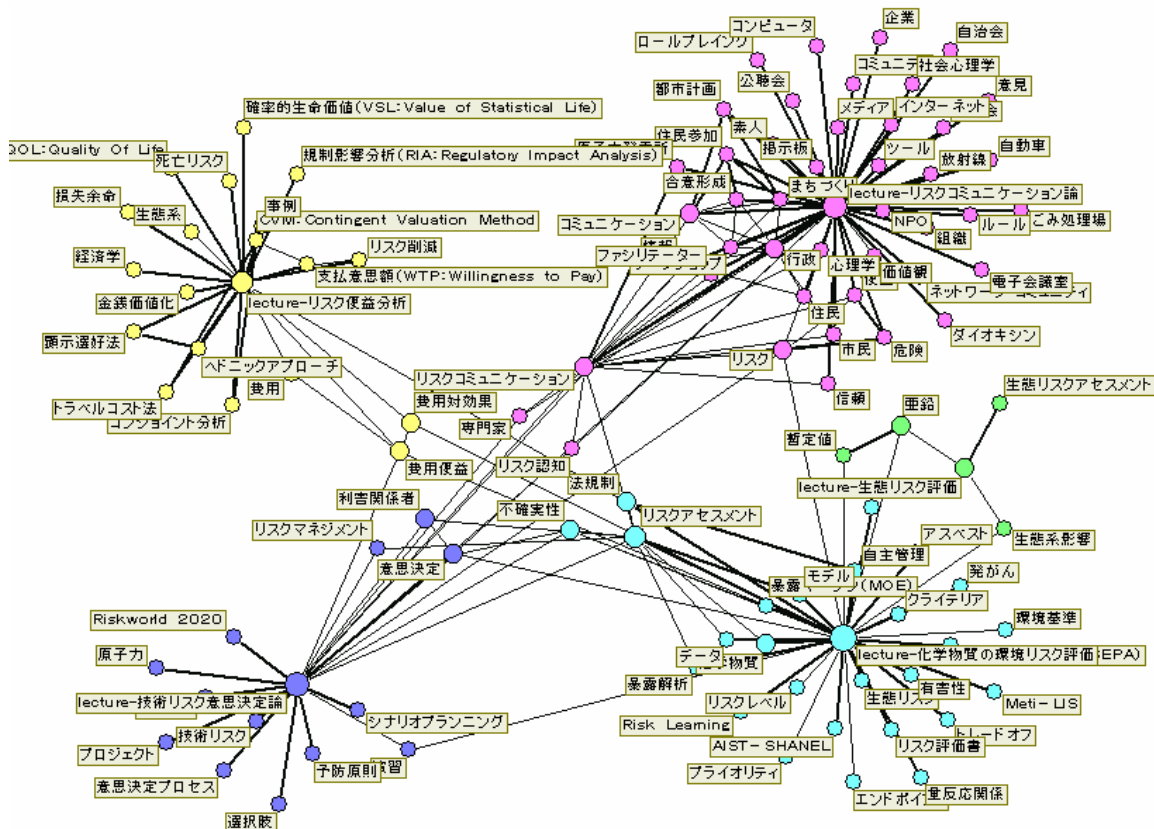


図-7 基幹科目間の概念(element)ネットワークの例

総概念語数：5,031 信頼度 $P_{ij} = \frac{n(W_i, W_j)}{n(W_i)}$ = 0.01 共起ルール数 $C_{ij} = n(W_i, W_j) = 6$

い意思決定を下せるかという課題を扱う「技術リスク意思決定論」、図-7 右上にはこれら一連のリスク対応を関係者と調整して実践するためのリスクコミュニケーション論が位置している。

ここで我々の興味があるのは、これら5科目が形成する密なクラスタを結ぶ概念である。このようなハブノードはネットワーク科学では「弱い紐帯」と呼ばれ、重要な意味を持つ可能性が指摘されている²¹⁾。図-7 中央には、基幹科目群を概念的に紐付けるハブノードの役割を持つelement群が位置している。ここではアセスメント、マネジメント、コミュニケーションというリスクサイエンスの三体²²⁾のうち、「リスクアセスメント、リスクコミュニケーション」が高い次数を持ったノードとして検出されている。そしてこの三体を中心に、環境リスク対応の際に重点的に考慮すべき要素概念として()「不確実性、情報、データ、モデル」などのリスク事象の不確かさとその評価にかかわる概念、()「意思決定、法規制、費用対効果、費用便益」などの対応の判定と意思決定に関わる概念、()「利害関係者、リスク認知、信頼」などの対応のコミュニケーションに関わる概念語が抽出されている。環境リスクマネジャは、環境リスクの専門家として様々な不確実性を伴う要因を考慮した上で、利害関係者との調整を行いながら未然対応的な実践行動が求められるものであり、これらのelementによって構成されるメタ概念が環境リスクマネジャの修得すべき重点課題であ

ることが示されている。

(4) 分析3: スキル標準の付与候補となる概念抽出

(3)で抽出された概念は環境リスク管理を構成する最上位の要素概念が抽出されていると考えられる。ここではさらに基幹5科目を形成する上位概念とそれ以外の科目を連結する重要なelementを抽出する。11科目の一对比較で ${}_{11}C_2 = 55$ の組み合わせで科目を結合するノードを抽出した結果を表-2に示す。ただし統計量のみで抽出された情報では概念には粒度が小さすぎる専門用語が含まれることがあるため、必要に応じて上位概念の参照による圧縮や取捨選択をしている。

まず、環境リスク管理の対象に関係する概念としては「化学物質・放射性物質による健康影響・生態系影響の環境リスク、労働安全衛生等」が読み取れる。また管理手段の知識・スキルとしては「エンドポイント・量反応関係・定量化・モニタリング・シミュレーション・確率論的リスク評価・確率統計解析・曝露解析」等のリスク分析に関連する項目が抽出されている。同時に「ソフトウェア・ツール・コンピュータ・システム」などの解析ツールのハンドリングに関係するスキルも抽出されている。また「組織・企業・行政・ヒューマンファクター・心理学・合意形成・ワークショップ・コミュニケーション」等の概念に見られるように、個人・組織・社会レベルでの人間のもつ特性の理解とコミュニケーション能力に関する項目も抽出されている。さらにリスク対応の実践とその知恵の側面では「リ

表-2 科目間共有概念の抽出

	GRP	RMS	AER	CRA	HRA	PO	PRA	DM	RC	RBA	ERA
GRP	リスク低減	-	-	-	-	シミュレーション	シミュレーション、専門家	専門家、プロシエクト	企業、専門家	経済学、生態系、費用	生態学、行政、シミュレーション
RMS	-	リスク低減	-	亜鉛、顕在化、労働安全衛生、リスク低減、規格、危険源の特定	亜鉛	発生確率、規格、労働安全衛生	組織、ヒューマンファクター、リスク低減、確率	リスク低減、規格、CSR	CSR、組織、コミュニケーション	プライオリティ	組織
AER	-	-	行政、ガス状物質、化学物質、粒子状物質	発がん、ダイオキシン、化学物質	発がん、健康、化学物質	ソフトウェア	曝露解析	化学物質	行政、ダイオキシン、自動車、化学物質	ダイオキシン	環境省、化学物質
CRA	-	-	-	発がん、健康、化学物質	ソフトウェア	曝露解析	予防原則、削減	費用、化学物質	エンドポイント、トレードオフ、生態系、リスク削減、量反応関係、金錢価値化、プライオリ	環境基準、化学物質、健康影響、定量的、エンドポイント、生態系影響、曝露解析	化学物質
HRA	-	-	-	-	-	-	-	健康、環境、健康リスク	化学物質、放射線、放射性物質、BSE問題	ライフスタイル、健康、化学物質、ダイオキシン	化学物質
PO	-	-	-	-	-	確率論的リスク評価、確率統計解析、シミュレーション	シミュレーション	シミュレーション	シミュレーション、発生確率	確率統計解析	確率論的リスク評価、シミュレーション、定量化
PRA	-	-	-	-	-	-	-	システム、確率、専門家	確率、ツール、原子力発電所、コンピュータ、心理学、専門家、行政	便益、確率統計解析、安全	確率論的リスク評価、シミュレーション
DM	-	-	-	-	-	-	-	心理学、市民・住民、専門家、原子力、ワークショップ、合意形成、コミュニケーション、ファシリテータ	リスク総合判定、選択肢、文献、リスク削減、亜鉛	エンドポイント、BSE問題、選択肢、亜鉛、モニタリング、化学物質	化学物質
RC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	安全、ダイオキシン	化学物質、シミュレーション、環境基準
RBA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	プライオリティ、エンドポイント、定量的、生態系、亜鉛
ERA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	生態学、亜鉛

¹ GRP:グローバルリスク政策論, RMS:リスクマネジメント・システム論, AER:大気曝露リスク評価, CRA:化学物質の環境リスク評価, HRA:健康リスク評価, PO:プラントオペレーション・リスク論, PRA:確率論的リスク評価, DM:技術リスク意思決定論, RC:リスクコミュニケーション論, RBA:リスク便益分析, ERA:生態リスク評価

² (3)で抽出された概念語も同時に抽出されているが表中では省略している。また表中の概念語の順番には意味を持たない。

³ 共起ルール数および信頼度はそれぞれ, C=3~5, P=0.1程度で抽出している。

スク低減，プロジェクト，リスクコミュニケーション総合判定，金銭価値化，プライオリティ，選択肢，トレードオフ」等の管理行動を意思決定する上で重要となるスキルが抽出された。最後に，属人的なリスク対応の知恵に関連する項目として「CSR（Corporate Social Responsibility）・予防原則・専門家・ライフスタイル」などの環境リスクマネージャとしての姿勢に関する概念語が抽出されている。これらの概念も環境リスクに関わる講義群を接合する重要な概念であり，スキル標準への埋め込みを検討する必要がある。

4．環境リスクマネージャのスキル標準（案）の策定

本人材養成プログラムでこれまでに構築してきた環境リスクマネージャのスキル標準に対して，3章で抽出された概念を組み込む形でモデルの改定を行った。これを「H19年度版：環境リスク管理スキル標準」として表-3に示す。

まず技能力に関しては，リスクアセスメントに関連する項目ではデータ・情報の解釈能力やツールのハンドリング能力，確率論的評価能力が追記された。リスクコミュニケーションに関連する項目ではリスク認知特性の理解といった心理学的な知識とコンフリクト回避のためのファシリテーション能力などを追記した。リスクマネジメントに関わる項目では組織等での環境リスク管理プロジェクト運用能力に関連する項目が追記した。またリスク総合判定に関しては，不確実性および法規制要因，経済効率要因下での判定能力について追記した。次に実践力に関しては，今回の分析では明示的に記載できる概念要素の抽出ができなかったため追記項目はない。最後に人間力に関してはリスクの持つ性質のうち不確実性の理解が必要であること，またそのリスクに対して未然対応的に実践行動がとれることについての記述を追加している。また環境リスクマネージャの重要なタスクである意思決定において非常に大きな課題である優先順位付けの記載を追加している。また環境リスクという人類的課題を実践する上で環境リスクマネージャには社会的責任があり，信頼を得られる態度と行動が必要であることを追記した。

5．まとめと今後の課題

（1）本研究の成果のまとめ

本研究では，環境リスク管理学における理論と実践の知識構造をボトムアップ的に抽出するために，講義コンテンツに対してデータマイニング技術を適用して知識マイニングを行った。これにより科目間や概念間の連関関係を視覚化することができ，以下の知識が抽出された。

- 1．環境リスク管理学では，「リスク総合判定」・「意思決定」・「コミュニケーション」等のリスク対応実践能力を養成し，これを中心にリスク分析・評価能力開発と連動させることが重要である。
- 2．リスク対応実践能力の修得には，（ ）情報・データが持つ不確実性の評価・モデル構築能力，（ ）法，経済的要因を踏まえた意思決定能力，（ ）利害関係者のリスク認知を理解し，信頼を醸成するコミュニケーション能力の養成が重要である。
- 3．詳細には，リスクアセスメント関連能力では確率論的評価・モデリングおよびツールのハンドリング能力，リスクコミュニケーション関連能力では組織・社会との連携下での合意形成能力，リスクマネジメント能力ではトレードオフの理解と選択肢の優先順位付け能力，リスクマインドでは社会的責任認識能力と未来志向が重要である。

これらの抽出された知識を利用して環境リスク管理のためのスキル標準の改良が可能となった。これにより環境リスク管理のために必要なスキルが明示的に共有され，学習側では成長目標の明確化，教育側ではカリキュラム改善効果 特に講義間・講師間の連携強化，受講者の成績・能力評価モデルの向上等が期待される。また本研究で実施したデータマイニング技術を利用した知識マイニングプロセスでは特に科目間を繋ぐハブノードに注目した知識抽出を行うことで有益な概念が抽出されており，このプロセスは環境リスク管理学に限らず様々な領域における教育学習モデルの知識構造化についての一つのモデルになると思われる。

（2）今後の課題

一方で，本研究を通して様々な課題が発見された。以下に今後の課題として論点を整理する。

a) 暗黙的な知識の抽出

技術的な課題としては，今回のデータマイニングで得られた追記項目は技能力に偏っており，実践力や人間力といったより属人的な知恵の抽出が行われていないことが挙げられる。これは概念語へのアノテーション段階で，語彙レベルでの表層概念に対するタグ付けに止まるのが原因である。例えば分析の方法論のように既に形式知となっている知識体系の記号化は比較的容易だが，「リスクの見抜き」や「トレードオフ解決の思考方略」といった属人的な知恵は言語として明示されない。このため実践力や人間力に関わる暗黙的な知識の抽出には異なる方法論が必要となる。これはナレッジマネジメント²³⁾研究に関連する領域であり，現在平行して進めている組織リスク管理の研究²⁴⁾ではリスク管理のための「筋骨」を定式化すべくリスク管理の実務家に対するヒアリングを実施している。今後そこで得られた知見と本研究の成果の融合を検討する。

表-3 環境リスク管理スキル標準(案) H19 年度版

評価の側面	要件
<p>環境リスクマネジメントに係る行為のメタ構造からみた場合</p> <p>(技能力)</p>	<p>[1] 環境リスクの分析能力を有すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> データ・情報の解読・活用能力、モニタリング能力、リスク因子の特定能力、リスクの算定能力などを有すること。 <p>[2] 環境リスク評価能力を有すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> リスク解析ツールなどの活用により、用量 - 反応評価、曝露評価、確率論的評価、モデル構築・シミュレーション能力を有すること。 <p>[3] 環境リスク総合判定能力を有すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> 費用便益・費用対効果(経済分析能力)、法的要求事項(法制度・法規制分析能力)、リスクトレードオフなどを考慮し、<u>定量的・定性的な観点から適切な総合判定ができる能力</u>を有すること。 <p>[4] 環境リスク対応能力を有すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> 不確実性下の環境リスク対応にあたって、実際の状況と評価結果に基づいて、リスク回避、リスクの最適化、リスクの移転、リスクの保有などの対応策を適切に選択し、実践できること。 <p>[5] 環境リスクコミュニケーション能力を有すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> リスク認知、ヒューマンファクターなどの特性を理解し、合意形成にむけて利害関係者との調整、コンフリクト回避・緩和等を行うファシリテーション能力を有すること。 <p>[6] 環境リスクマネジメントシステム構築・プロジェクト運用能力を有すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一連のリスク対応行動を組織および社会に内部化し、実践する能力を有すること。
<p>各能力のサブシステムからみた場合</p> <p>(実践力)</p>	<p>上記[1]～[6]のそれぞれの能力の奥行きには、以下の～のような段階(フェイズ)があるが、「一貫的行為手順」以上の能力を有すること。</p> <p>Lv1: 理念的側面</p> <ul style="list-style-type: none"> 分野特有の理論、概念、原則を理解し、使うことができる。 <p>Lv2: 方法論的理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 二次データの利用も含めて、調査を計画し、実施し、レポートすることができ。 <p>Lv3: 一貫手続的行為</p> <ul style="list-style-type: none"> 一連のエビデンスを集め、統合して仮説をつくり、その検証を行うことができる。 現場及び実験室において適切なテクニックでデータを収集し、記録し、分析することができる。 適切な定性的、定量的なテクニックやパッケージを用いて、データを整え、処理し、解釈し、表現することができる。 <p>Lv4: 実務想定実践</p> <ul style="list-style-type: none"> リスクアセスメント、アクセス権、関連する健康・安全法規、調査による環境や理解関係者に対する影響の感度に細心の注意を払い、現場及び実験室で責任を持って、安全な方法で調査を遂行できる。 サンプルの選択、現場や実験室におけるデータ収集・記録・分析における正確さ、精度、不確実性といった問題について認識している。 個人や集団の目標と責任分担を設定し、適切に役害を果たすことができる。 研究や仕事に対して順応性のある柔軟なアプローチを発達させることができる。 <p>Lv5: 多面統合</p> <ul style="list-style-type: none"> 多様な価値観を統合し、批判的に分析、統合、要約できる。
<p>環境リスクに対する態度(姿勢)からみた場合</p> <p>(人間力)</p>	<p>(1) 熟慮・批評的・論理的思考(クリティカル・シンキング)ができること。(多面的に物事を考える能力)</p> <p>(2) 高いリスク感受性(潜在的環境リスク発見能力)を有すること。</p> <p>(3) <u>不確実性を伴った潜在的・未知の環境リスクへの対応能力</u>(構造的把握・フレーミング力、デザイン能力)を有すること。</p> <p>(4) 問題本位の<u>予防的な対応能力</u>(理論と実践の融合)を有すること。環境リスク管理に関する専門知識を現実の問題解決に応用できる能力を有すること。</p> <p>(5) リスク便益、リスクトレードオフのバランスによる<u>優先順位付けと意思決定力</u>を有すること。</p> <p>(6) <u>自らの社会的責任を理解し、信頼を醸成しうる実践能力</u>を有すること。</p>

¹ 太字下線部が本稿の分析により追記された項目を表す。

b)環境リスク学の知識抽出に関連する課題

本研究で解析したデータは全講義の一部であるため今後解析を継続して更なる知見の獲得に務める。特に意思決定に関わる重要な要素概念であることが示された法律・経済的側面に関連する科目が未解析である。環境法もリスクベースドな方向に進んでいることや²⁵⁾、P2Mなどのプロジェクトマネジメント²⁶⁾も進展している背景もあるため、これらの知識を連結する必要がある。また本稿では記載していないが、本プロジェクトでは各科目それぞれについて修得すべき個別スキルの構築も進めている⁵⁾。今後各科目レベルでの環境リスク対応スキルを抽出して更なる高度化をめざす。そして、現在様々な領域において知の構造化の必要性が言われており²⁷⁾、工学の学問体系に関する知の構造化なども進められている²⁸⁾。環境学領域においては持続可能性学に関する知の構造化プロジェクトも進められているため²⁹⁾、これらとの知識との連結も検討したい。

c)スキル標準開発成果の教育・学習システムへの還元

講義連関の可視化の意義は大きく、スキル標準が改良されることで講義設計と体系の見直しが図られる。プログラムではこれまでに「 土壌浄化の分析と対策」での環境リスク評価課題の結果を用いて「 リスクコミュニ

ケーション論」でのコミュニケーション演習を実践するなど講義間の連携モデル開発に力を入れている³⁰⁾。講義連関の可視化により抽出された科目間のネットワークは講義連携策の立案に寄与するであろう。また目標像であるスキル標準と受講により修得されたスキルの関連を明確にして自己点検する自己達成度評価システムを試行している。このシステムはセメスター期首において受講生は環境リスク管理スキル標準を参照しながら自己の能力の分析と成長するために何を学ぶかという達成目標を掲げ、セメスター期末には自己の能力および講義内容に対する事後評価を実施するものである。今後この評価システムから得られる知見を統合して達成度評価方法論やシステム開発を検討していく。

謝辞: 本プログラムは文部科学省科学技術振興調整費新興分野人材養成による支援を受けている。また講義運営にあたって兼ねてより多大なるご協力を頂いている講師の皆様、開始当初よりプログラムの理念に賛同され、積極的にご参加頂いている受講生の皆様、プロジェクトメンバーであり本稿を査読頂いた大阪大学大学院工学研究科松村憲一氏にはこの場で厚くお礼申し上げる。

(付録) 「環境リスク管理のための人材養成」プログラム カリキュラム構成

講義名	概要
グローバル・リスク政策論	地球規模の環境問題、エネルギーの枯渇などの不確実性に対する産業組織・コミュニティの対応について学習する。
リスクマネジメント・システム	組織における主要なリスクを体系化し、管理するためのシステムアプローチを学習する。
大気曝露リスク評価	環境中に排出された化学物質のメディア内での輸送・拡散、メディア間移動のダイナミクスの考え方について、学習する。
土壌浄化の分析と対策	有害化学物質による土壌・地下水汚染リスク低減のための土壌浄化(レメディエーション)計画・実施の原則を学習する。
化学物質の環境リスク評価	化学物質の生産・消費に伴う環境リスクを解析評価し、削減への施策を構想、選択、実行する方法と手順を学習する。
健康リスク評価	健康リスクを社会的曝露条件とパーソナルな曝露条件から捉える、社会医学の方向性と評価アプローチを学習する。
プラントオペレーション・リスク論	リスクを評価する上で重要となる確率論的解析手法、リスク評価手法への展開を学習する。
確率論的リスク評価*	確率論的リスク評価の対象として、安全裕度の定量的評価、事故データベース、シビア・アクシデント(過酷事故)の発生確率、アクシデント・マネージメント、ヒューマンファクターによる影響評価などを学習する。
技術リスク意思決定論	巨大技術システムや環境共生技術などの開発・利用に伴うリスクの管理上での意思決定過程で認識すべき重要かつ基本的事柄を学習する。
リスク対応実践論	リスクに対する企業、組織、コミュニティなどのリスクの抽出から評価・対応策の検討・分析・コミュニケーションに至る一連の実践的な能力を養うことを学習する。
リスクコミュニケーション論	人の心の問題としてのリスク認知、リスクコミュニケーションを考え、その実践について学習する。
リスク便益分析	環境リスク対策のコストと便益の関係性を把握し、意思決定を支援するための評価手法について学習する。
生態リスク評価	人間と生物的自然との関係性を科学的に評価し、合意形成、順応的な管理に活かすための実践的な考え方、評価手法について学習する。
環境リスクと法制度	環境法政策の側面より環境リスク管理の理論と実務の基礎を学ぶ。
経済・経営からのリスク分析	P2M(プロジェクト・プログラム・マネジメント)による総合的な視点で、複雑な環境リスクの問題解決としてのプロジェクト・マネジメント、プログラム・マネジメントの実践事例を学習または演習する
組織リスクマネジメント演習*	組織のリスクマネジメントのあり方をITセキュリティの観点から学習する。
リスクコミュニケーション演習*	リスクコミュニケーションの実例や知見を体系的に学び、環境リスクマネージャとしてリスクコミュニケーションに関わる際に必要なスキルを実践的な演習を通じて学習する。

参考文献

- 1) 文部科学省科学技術振興調整費新興分野人材養成プログラム：大阪大学大学院工学研究科「環境リスク管理のための人材養成」プログラム(2004-2008年度)，
<<http://risk.see.eng.osaka-u.ac.jp/>>，(入手 2007.5.8)
- 2) 盛岡通：リスク学の領域と方法 - リスクと賢くつきあう社会の知恵 - ，リスク学事典，p.2-12，2006.
- 3) 大原茂之，大原茂之，平山雅之，西野武史，佐藤清：情報技術関連のスキル標準と人材育成，情報処理，Vol.46 No.12，pp.1387-1402，2005.
- 4) 情報処理推進機構：ITスキル標準，
<<http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/index.html>>，(入手 2007.5.8)
- 5) 大阪大学：環境リスク管理のための人材養成プログラム 2005 年度成果報告書（概要版），
<<http://risk.see.eng.osaka-u.ac.jp/2006report.pdf>>，(入手 2006.6.23)
- 6) 伊藤庸一郎，佐藤省三，丸山岳人，齊藤修，松井孝典，岡野雅通，盛岡通：環境リスクのナレッジマネジメントシステムの構築に向けて，土木学会環境システム委員会 第 21 回環境システムシンポジウム講演資料集，9-22，2006.
- 7) 松井孝典，岡野雅通，加藤悟，齊藤修，伊藤庸一郎，佐藤省三，盛岡通：環境リスクマネジメント学習支援と学習モデリング，第 49 回先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST-A603)，pp.65-70，2007.
- 8) Semantic Web Road map：
<<http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>>，(入手 2007.5.8)
- 9) 溝口理一郎：オントロジー工学，オーム社，2005.
- 10) 溝口理一郎，古崎晃司，来村徳信，笹島宗彦：オントロジー構築入門，オーム社，2006.
- 11) AIDOS 編著：オントロジー技術入門，電機大出版局，2005.
- 12) 神崎正英：セマンティックウェブのための RDF/OWL 入門，森北出版，2005
- 13) 山本大介，長尾確：閲覧者によるオンラインビデオコンテンツへのアノテーション技術とその応用，人工知能学会，20 巻 1 号，pp.67-75，2005.
- 14) 曾根原登，岸上順一，赤埴淳一：メタデータとセマンティックウェブ，東京電機大学出版局，2006.
- 15) 大澤幸生：チャンス発見の情報技術，東京電機大学出版局，2003.
- 16) 日本リスク研究学会編：リスク学事典，阪急コミュニケーションズ，2006.
- 17) 中西準子，蒲生昌志，岸本充生，宮本健一：環境リスクマネジメントハンドブック，朝倉書店，2003.
- 18) 数理システム：Text Mining Studio，
<<http://www.msi.co.jp/tmstudio/>>，(入手 2007.5.15)
- 19) 数理システム：Visual Mining Studio 技術資料，
<<http://www.msi.co.jp/vmstudio/materials/index.html>>，pp.81-82，(入手 2007.4.25)
- 20) M. E. J. Newman：Finding and evaluating community structure in networks，Physical Review E 69, 026113, 2004.
- 21) 益田直紀，今野紀雄：複雑ネットワークの科学，産業図書，2005.
- 22) 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.
- 23) 国藤進，折原良平：ナレッジマネジメントとその支援技術，人工知能学会，16 巻 1 号，pp.2-73，2001.
- 24) 齊藤修，松井孝典，盛岡通：組織におけるリスクマネジメントの発展段階と適応型リスクマネジメントモデルの基本要件，日本リスク研究学会第 19 回研究発表会講演論文集，pp.457-462，2006.
- 25) 増沢陽子：環境法の新潮流，環境管理，41 巻 12 号，pp.1268-1274，2005.
- 26) 日本プロジェクトマネジメント協会：プロジェクト&プログラムマネジメント(P2M)，
<<http://www.pmaj.or.jp/>>(入手 2007.5.16)
- 27) 小宮山宏：知識の構造化，オープンナレッジ，2004.
- 28) 松本洋一郎：知識の構造化とネットワーク型知識基盤の構築，化学経済，pp.39-45，2007.
- 29) サステイナビリティ学連携研究機構：
<<http://www.ir3s.u-tokyo.ac.jp/>>，(入手 2007.5.15)
- 30) 岡野雅通，松井孝典，加藤悟，齊藤修，盛岡通：環境リスク管理教育の進化と社会ニーズ，日本リスク研究学会第 19 回研究発表会講演論文集，pp.277-282，2006.
(2007.5.17受付)