

文献情報の分析による地球環境問題における  
関連構造の仮説生成支援について

土橋 喜 堀 浩一

dobashi@ai.rcast.u-tokyo.ac.jp

東京大学大学院 工学系研究科 先端学際工学専攻

〒153 目黒区駒場4-6-1

東京大学先端科学技術研究センター

本稿では大規模複雑な問題解決における仮説生成支援について論じている。地球環境問題を具体的な例として取り上げ、文献情報の分析を利用して、問題の関連構造を説明するための仮説生成を支援することをめざす。地球環境問題は緊急に解決が要請されている大規模複合問題であり、このような問題解決支援のひとつとして、仮説生成支援が有効であることを論じ、理論に基づくシステムの開発方法を提案し、試作を行なっている。

Aiding hypothesis formation by eliciting hidden relations in earth  
environmental problem from the hyperdocuments

Konomu Dobashi and Koichi Hori

Interdisciplinary Course on Advanced Science and Technology,

Research Center for Advanced Science and Technology,

The University of Tokyo

4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153

This paper proposes a method for aiding hypothesis formation in very large complex problem solving. Earth environmental problem is a typical example of very large complex problem and immediate solution is required. A key to solution of earth environmental problem is to capture the relations between problems. This paper propose how to elicit hidden relations in earth environmental problems using analysis of hyperdocuments and functions of digital library.

## 1. まえがき

人間の問題解決における思考過程のひとつに仮説生成がある。仮説生成の一部は論理的にはアブダクション (abduction) と呼ばれる推論に対応するが、問題解決における意志決定を支援するうえで、演繹推論や帰納推論と並ぶ基本的な思考方法として極めて重要な役割を果たしている。ここでは仮説生成を大きくとらえ、人間の問題解決の思考過程における「思いつき」や「着想」、例えば何度も文章を読んだ後で「わかった」と感じるような場合、あるいは問題の新たな視点に「気づく」ような時の仮説生成を考える。仮説生成は問題を説明するための仮説を生成する創造的な行為であり、問題解決における重要な思考過程であるとも言われる [Davis 72]。つまり仮説生成はこれまでの経験とは異なる未知の状況に直面したとき、既知の情報を効果的に利用して解決策を見いだすための、一般的な推論方法である。また人工知能研究において、問題解決方法や学習などは人工知能システムが実現目標としている高度な機能であるが、これらの多くの機能の基盤となる人間の思考方法のひとつが仮説生成である [大須賀92]。

本稿ではこのような仮説生成を現実問題の解決支援において活用し、人間の問題発見および問題解決能力を増幅・拡大するための新たな支援方法を提案する。そのため地球環境問題のように、既存の知識体系では解決のできない、大規模に複合した問題を対象として、問題の関連構造を説明する仮説の生成支援について、基本的な考え方やシステム構築について論じている。

## 2. 大規模複合問題解決と仮説生成支援

本稿では、地球環境問題のように大規模な複雑性・多様性を内包している問題を大規模複合問題という統一した概念のもとで扱うことにする [Funke91]。大規模複合問題という用語は、領域が多分野にまたがり、規模が巨大で複雑な問題を普遍的に表現しようとする概念である。このような問題の典型的な例として、地球環境問題をあげることができる。このほか南北問題、廃棄物問題、食料問題、エネルギー問題、資源問題、人口問題など地球環境問題に関連した巨大な複合問題が人類の緊急の問題として存在している。ここでは一つの例として地球環境問題を念頭において考える。

このような大規模複合問題における複雑性・多様性に対応するためには、問題を構成する要素の相互関連の解明と把握が必要である。相互関連を把握することによって、研究の方向づけや必要な知識の統合、モデル構築の簡易化などが可能になる。また研究の方向づけのためには問題の因果関係を分析しなければならない。このような課題に対応するためには、情報科学や人工知能の基礎的研究成果の応用が適切であると考えられ、本稿では特に問題の関連構造を説明するための仮説の生成を中心に研究を行なっている。

### 2. 1. 仮説生成

論理学の観点から、一般的に仮説生成における推論方法を考えると、学問の研究 [村上84] や日常生活のさまざまな場面において、仮説生成が果たしている役割は演繹推論に劣らないものがあり、その推論機能を無視することはできず、逆に支援することによって、人間の問題解決能力を拡大することが期待できる。この仮説生成が持つ推論の特徴は、地球環境問題のような大規模複合問題の関連構造を説明するための仮説生成にも適用することができる。

仮説生成の推論機能の特徴として、次のようなことが言える。仮説生成は蓋然的な推論方法であり、結論をそのまま真実であると認めることは適切ではない。しかし、ほぼ正しいであろうと認めることができ、ほとんど間違いのない命題を引き出す推論方法である。そのため結論が絶対的な確実性を持つものではなく、厳密には得た結果に対して検証が必要になる。つまり仮説生成では、問題解決の要求に合わせて、最初に可能性のある仮説を作る。そしてその仮説が目的に適合しているかどうかを検証し、適合していない場合にはその仮説を修正して、再度目的に適合しているかどうかを再検討しなければならない。

パース (Peirce, C.S.) などによれば一般的な問題解決において、このような仮説生成にも一定した類型が存在し、これらの類型は論理的に検討を加えることができる。仮説生成の類型は、普通、次の3つに分けられる。最初の2つはパースがアブダクション (abduction) と呼んだものである [久野69]。

(1) Bは不可思議だ。だが、もし《AならばBである》ならば、不可思議ではない。故に、Aであろう。

(2) BはP1、P2、P3などの性質を持つ。Aもそうだ。故に、BはAであろう。

(3) Bである。AならばBではない。故に、Aではない。

(1)はある事柄Bの原因Aを想定して、AによりBを説明するための発想法である。(2)は何かよく分からないモノや事柄Bに出会ったとき、それが既知の事柄Aに属することを示して、これを説明するときに用いられる。(3)は純然たる演繹推論であり、これによって一見もっともらしい理由づけAを排除することができる。

これらの類型によって、Bから何をAとして発想するかは、もはや論理学の領域で考えることではない。それは問題の内容そのものや学問研究の内容に関わっているからである。ここでは後で述べるように主に地球環境研究における問題点の解決支援を発想の対象としている。つまり先にふれたように問題の関連構造を説明する仮説の生成が発想の中心となるものである。

## 2. 2. 因果関係推論

パースによれば新しい認識は仮説生成を経て生まれ、帰納と演繹は仮説生成を検証する役割を果たす。帰納と仮説生成は独立しておらず、帰納における因果関係推論の結論と仮説生成の結論の一部は同一である。ここで取り上げる地球環境問題のような大規模複合問題の関連構造を説明する場合、問題と問題のあいだに潜在する因果関係を顕在化させることができれば発想の刺激につながるものと期待される。ここでは仮説生成を補完する形で、因果関係推論を利用する。

ある事柄と他の事柄に因果関係があるかどうかを推論する場合、次の2つの方法がある。

(1) ある事柄Cが生じ、それによって他の事柄Eが生じるならば、CはEの原因である。(CはEの充分条件)

(2) Cが生じなく、これによってEが生じないならば、CはEの原因である。(CはEの必要条件)

またこのような因果関係を調べる方法として、一致法や差異法などの手法もあるが、これらは仮説生成とほぼ同じ手法であり同じような結論をもたらす。ここでは問題の関連構造を説明するものとして因果関係推論を参考にし、またシステムの理論的な背景として、これらの推論を参考に開発を進めている。

## 2. 3. 問題解決と仮説生成の位置づけ

我々が本当の意味で「思考」を必要とするのは、解決すべき問題に直面したときである。問題解決は人間の知的活動の中心となるものであるが、ここでは既存の情報世界から必要な情報を取り出す操作を、問題解決と呼ぶ[大須賀92]。問題解決における思考過程においては、仮説生成などの推論方法はその部分として用いられるだけであり、問題解決全体を統合する枠組みが存在する。それは次の4段階から構成される[久野69]。

(1) 問題設定； 解決すべき問題を明確にとらえる。どんな問題をどんな方法で取り組むかによって、その解決の仕方も変わってくる。

(2) 仮説の決定； 問題がつかめれば、それを解決する方法をいろいろと「思い付く」ことができる。この段階では演繹や帰納の論理が使われるが、考えることよりも思い付くことのほうが重要な要件である。

(3) 推論； 仮説(解決のプラン)が得られれば、それをすでに持っている知識や理論を使って検討する。思い付いた仮説から、論理的な帰結を導いたり、これまでの知識や情報と矛盾しないかどうかなどを調べる。

(4) 検証； 仮説から導かれる論理的帰結を事実と突き合わせて検証する。もしそれがうまくいけば、仮説は正しいものとされるが、もし正しくなければ、仮説に誤りありとして、はじめからやり直すことになる。

本稿では、問題解決の思考過程における仮説生成の位置付けと役割をこのように考え、仮説生成を支援することによって、我々自身の問題解決能力の増幅・拡大を支援することを目標としている。

これからのシステムは、地球環境問題のような現実世界に起こる多様で複雑な問題を扱わねばならない。これらの問題の多様性には多くの原因(例えば、非決定性、問題の規模の差、実時間処理など)が存在し、これらの問題のそれぞれが、これまでに実現された技術に加えて新たな技術開発を要求している。情報モ

デリングは、計算機のなかに明確な対象世界のモデルを表現するための技術であるが、そのためには試行錯誤的な方法が不可欠である。仮説生成支援の目的の一つは、このような不明確で断片的な情報を関連付けるための仮説を生成することでもある。

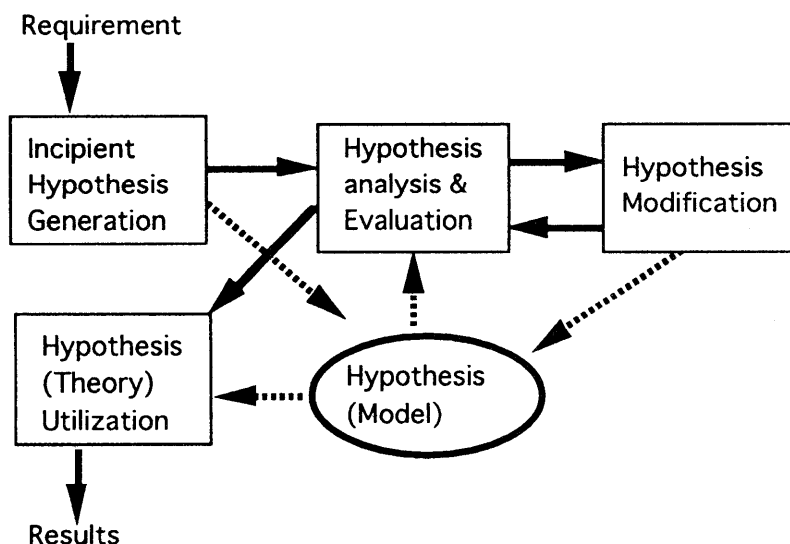


Figure 1. Basic Method of Thinking [大須賀92]

### 3. デジタルライブラリと問題解決支援

デジタル・ライブラリの研究は次世代情報検索システムとして位置付けられるものであるが、ここではデジタル・ライブラリの要素技術を仮説生成支援の研究に積極的に活用する。人工知能システムが実現する情報世界は、人間の思考のなかで使われる情報の一部分にならざるを得ないが、それを可能なかぎり人間の情報処理の世界に近づけることが人工知能研究の究極の目的であると言われる。ハイパーメディア [金子93] に基づくデジタル・ライブラリは、このような人工知能研究の目的の一部を実現するために活用できる。

#### 3. 1. 仮説生成とデジタル・ライブラリ

地球環境問題のような大規模複合問題を扱うためには、大量の情報を必要とする。その情報も多種多様に及んでいる。デジタル・ライブラリはその開発方向によって多少の違いはあるが、マルチメディア情報を扱える点で共通している。地球環境問題を扱った文献などは必ずといってよいほど図や表を含んでいる。文章による説明に加えて現象の図解や数値データをグラフ化するなどして、読者の視覚的な認識に訴え、文章による説明をより効果的にしようとしている。デジタル・ライブラリはこのような図や表を含んだ文献をデータベース化するのに適している。今後の研究開発はマルチメディア情報の組織化を通して、デジタル・ライブラリの中に現実問題に対応できる知識ベースを自動的に構築していくことにあると思われる。利用者はデジタル・ライブラリの知識ベースを参照しながらデータベース内の文献やデータを利用することが可能になるが、知識ベースの内容をどのように構成するかは現実問題の性格や利用の目的に合わせて考えねばならない。

デジタル・ライブラリの要素技術を利用した仮説生成支援においては、テキストやグラフ、図表や写真など多種類の情報を提示することによって、ユーザの発想をより刺激することを期待できる。つまり多種多様な情報の提示とシステムによる仮説生成支援によって、ユーザの発想を相乗的に刺激し、支援する

ことが実現される。これは言わば統合型の発想支援システムが目指すひとつのシステム形態である。

デジタル・ライブラリの場合は、問題解決要求を持つユーザに対して、収束的な思考のために、何らかの構造を持つ情報を提供することができる。また発散的な思考のために、構造を持たない断片的な情報を提供することも可能である。問題解決を支援するための仮説生成支援では、断片的な情報を出発点としてそこから関連性を見いだすよりも、何らかの構造を持つ情報から意味を見いだすほうが有効な場合も考えられる。これは発想のトリガーが情報の何処の部分に存在するかが明確にならない限り、どちらの提供方法が良いかははっきりとは言えない。概念形成支援の研究では、発散的思考と収束的思考の両方を適切に示唆できる柔軟なシステムの必要性が指摘されている [堀94] [Hori94]。

しかし、これまでに蓄積された研究成果の上に新たな研究成果が積み重ねられていくように、断片的な情報であるか、組織化された情報であるかを問わず、既存の情報を手掛かりとして、それらを新たに組み合わせる関連構造を見だし、再構成することによって新たな知識を作りだすと考えるべきである。我々の構築しているシステムは知識を再構成するための関連構造を見だし、それを仮説のたたき台としてユーザに提供しようとするものである。

### 3. 2. 発想支援における仮説生成

近年のデータベースの大規模化にともない、データベースからの知識発見の研究が行なわれている。これからはデータベースの大規模化と同じように知識ベースも大規模し、知識ベースからの知識の再発見や再構成が発想支援の重要な研究課題になると考えられる。知識発見の研究は“生成レベル”の発想支援であると言われる [折原93] が、本研究における仮説生成支援は、知識の再発見や再構成における仮説生成を支援する点で、この生成レベルの新たな発想支援システムを目標としている。

## 4. 地球環境問題における仮説生成支援

本研究では、大規模複合問題の例として、地球環境問題を取り上げる。その理由の一つには、地球環境問題が大規模複合問題における複雑性・多様性を内包している典型的な問題であることがあげられる。文献データベースを調査してみると地球環境問題、大気汚染、公害問題などのキーワードに該当する文献は数多く見いだされ、多くの研究者と研究成果が存在することが分かる。しかしこれらの問題は相互に無関係ではなく、それぞれの問題が極めて複雑に関連し合っていることが指摘されている。これらの問題に対するこれまでの取り組み方の特徴として、さまざまな分野の専門家がさまざまな問題提起や解決策を提案しているが、問題全体から見ればそれらは極めて断片的なものとなっていることが指摘される。これらの断片的なものから問題の関連構造を正確に把握し、適格な意志決定を行うための知識体系の再構築が緊急の課題として要請されている。

### 4. 1. 地球環境問題研究における隘路

これまでの文献のサーベイから地球環境問題研究には次のような問題点が存在することが明らかになっている。

(1) 環境問題の多くは、必ずしも科学的に問題の因果関係が明確に立証されていない。(2) 現代のような細分化された科学は、研究対象を極めて狭い範囲に限定しており、地球環境問題のように新しい領域概念に属する大規模複合問題に対応できるようになっていない。(3) 環境問題が研究者に強要しているのは、近代的な学問の概念自体の改革である。さらに環境問題が扱わなければならないのは、自然現象と人為現象との相互作用であり、それはより広い観点からみれば、むしろ人間活動そのものの関連性の解明である。(4) いくつかの地球環境問題を分析してみると、多様な知識の組み合わせが必要であることがわかる [村上94]。(5) 地球環境問題が、自然科学と社会科学の広大な研究領域と政治とを結び付ける新しい課題であることは、世界中の研究者の常識である [米本94] [Avouris95]。

こういった多くの問題を解決していくことは非常に困難なことであるが、これらの問題点の指摘から要求されているのは新たな問題解決の方法論である。すなわち地球環境問題の解決の根底には、研究分野あるいは政策立案などの概念領域に依存しない方法論の確立、または全ての概念領域に共有可能な方法論の

確立が求められていると言える。このような方法論を確立することは容易なことではないが、問題解決の視点を人間の能力の拡大支援に向けて考えていくことが重要なことである。すなわち環境問題の解決を迫られているのは我々人間であるから、人間の問題解決における思考や発想など、人間の能力自体を増幅したり、補完したりすることの支援に結び付けて研究を行なうことがひとつの解決案になることが明らかであろう。

#### 4. 2. 知識体系の再構築支援

地球環境問題研究が既存の知識体系では十分に対応できない問題であることから、これまでの研究成果を新たな観点から再編成し、問題に対応できる知識体系を構築することが必要である。この研究の目的である問題の関連構造を説明する仮説の生成支援は、直接的には未解決の問題に対応できる新たな知識を再構成するための支援である。ユーザは問題解決にあたり、自分の専門分野だけでなく、専門外の分野の断片的な知識をも集め、それをまとめて知識体系の再構築を行なうことが必要になっている。そのためには問題解決のために必要な、多様な知識を組み合わせることを支援し、知識体系を再構築するための関連構造を説明する仮説を利用者に提供するメカニズムが必要である。

新たな知識体系を構築する目的は、問題解決のための新たな提案をまとめるためである。具体的には研究課題の策定や、政治的な政策の立案に結び付けなければならない。ここで重要なことは、設定した研究課題や立案した政策が、自然科学と社会科学の両面からどのような問題領域と関連しているかを判断し、その結果将来的にどのような影響があるかを評価できるようにする必要があることである。

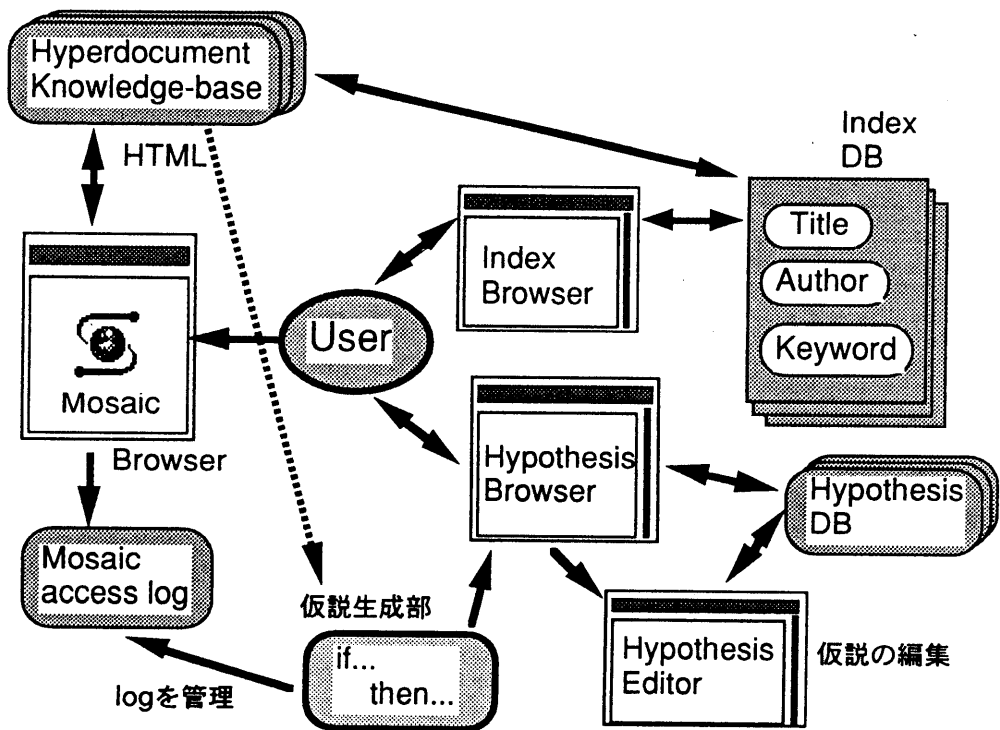


図2. システム構成

#### 5. 仮説生成支援システムの構想と開発

システム開発の中心は、地球環境問題のさまざまな現象を説明した文献を、一定の関連性に基づいて分析

し、現象間に存在する可能性のある関係を仮説の素材として生成し、ユーザに提示する機能の開発にある。例えば現象Aと現象Bを扱った文献が検索され、現象Aと現象Bの間に何らかの関連構造が存在した場合、その関連構造をシステムが抽出し、現象Aと現象Bの関連性を説明するための、たたき台としての仮説をシステムが生成するメカニズムの提案である。

システムは現在開発中であるが、図2のような構成をしている。ハイパードキュメントのブラウザにはMosaicをそのまま利用している。ここではHTMLでタグ付けされた文献を、従来のプレーンなテキストと区別するため、ハイパードキュメントと呼んでおり、システムの検索に利用する知識ベースはリンク付けされたハイパードキュメントの集合から構成される。ハイパードキュメントは地球環境問題に関連した現象や問題を扱った文献を収集したもので、テキスト、画像、数値データ、図表などを含んでいる。最初の段階では、ハイパードキュメントは検索のために必要な文献の階層構造（目次、タイトル、サブタイトルなどのつながり）を表わす最小のリンクをあらかじめ用意している。ハイパードキュメント知識ベースでは、データを構成する文献に、情報を伝達するためのメディアによるばらつきが存在する。文献の構成要素が、テキストだけである場合もあり、数値データや画像データを含んでいる場合などさまざまであり、こういったメディアの多様化に対応した処理方法の開発が必要である。

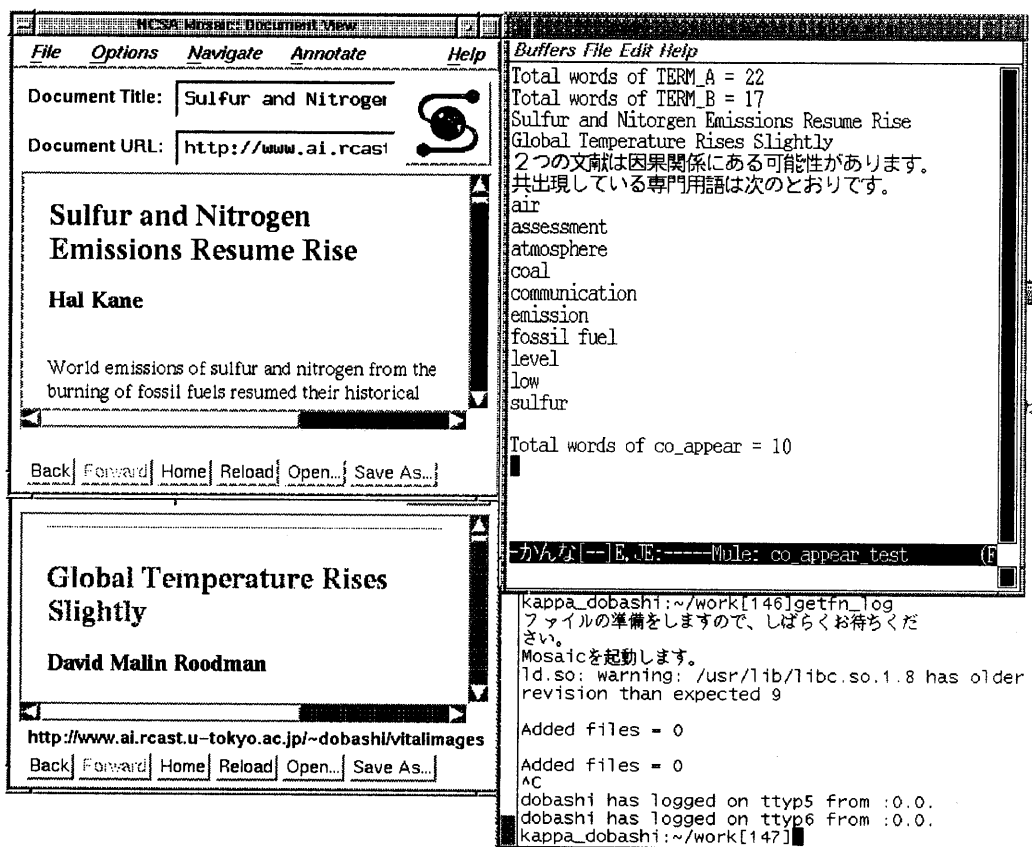


図3. システムの実行例

## 5. 2. 関連構造の定義

ハイパードキュメントを分析して、関連構造を説明する仮説を生成するためには、あらかじめ分析の視

点を定義しておく必要がある。文献間に潜在する関連性は、情報検索的な観点と統計学的な観点から定義している。ハイパードキュメント間における関連構造は、次の4つの観点から分析を定義している。

- (1) 専門用語の共出現
- (2) 数値データによる相関関係
- (3) 論理的な関係による関連構造 [Ellis90, Swanson87]
- (3) 文献間の類似度

地球環境問題のような大規模複合問題に対応するためには、比較的単純な関連構造の定義を組み合わせ、より適切な仮説生成支援を行ない得るようにすることが必要である。3つ以上の文献が選択されたばあも、基本的には一対比較によって、仮説生成を行なう。仮説を出力する時点は、ユーザが2つめの文献を選択した時点から開始するか、あるいは検索履歴を利用して、検索が終了した時点でまとめて行なうことも考えられる。

### 5. 3. 実行例

現在開発中のシステムの実行例を図3に示す。ユーザは左側のMosaicの画面から文献を選んで表示させる(図では分かりやすく2つの文献を同時に表示させているが、ひとつのMosaicで順番に文献をブラウズしてもよい)。ユーザが2つめの文献を選んだ時点で、システムが自動的に文献の関連構造の分析を行なう。図の例は2つの文献の間に専門用語の共出現が見いだされ、それによって2つの文献が扱っている内容に因果関係が潜在していることを説明している。この例では分析結果をエディタに出力して表示させたものである。このほか専門用語の共出現以外の関連構造についても開発を進めている。

#### [参考文献]

- [大須賀92] 大須賀節雄：AIパラダイムと知識(次世代情報処理技術シンポジウム)，日本情報処理技術開発協会，pp. 1-21 (1992).
- [折原93] 折原良平：発想支援システムの動向，情報処理，Vol. 34, No. 1, pp. 81-87 (1993).
- [金子93] 金子朝男：ハイパーメディアの研究動向，情報処理，Vol. 34, No. 1, pp. 60-71 (1993).
- [久野69] 久野収：思想の科学辞典，勁草書房，p. 757 (1969).
- [堀94] 堀浩一：発想支援システムの効果を議論するための一仮説，情報処理学会論文誌，Vol. 35, No. 10, pp. 1998-2008 (1994).
- [村上84] 村上陽一郎：仮説のすすめ，生体の科学，Vol. 35, No. 3, pp. 162-166 (1984).
- [村上94] 村上陽一郎：科学者とは何か，新潮社，p. 186 (1994).
- [米本94] 米本昌平：地球環境問題とは何か，岩波，p. 262 (1994) (岩波新書331)。
- [Avouris95] Avouris, N, M.: Cooperating Knowledge-based Systems for Environmental Decision Supports, Knowledge-Based Systems, Vol. 8, No. 1, pp. 39-54 (1995).
- [Ellis90] Ellis, David.: New horizons in information retrieval, Library Association, p. 138 (1990). (日本語訳；細野公男監訳：情報検索論，丸善，pp. 180 (1994))。
- [Davis 72] Davis, William H.: Peirce's epistemology, Nijhoff, p. 165 (1972). (日本語訳；赤木昭夫訳：パースの認識論，産業図書，p. 288 (1990))。
- [Funke91] Funke, J.: Solving complex problem: Exploration and control of complex social systems, Complex problem solving: Principles and mechanism, Sternberg R. J. and Frensch P. A. eds, Lawrence Erlbaum, pp. 185-222 (1991).
- [Hori94] Koichi, Hori.: A system for aiding creative concept formation, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 24, No. 6, pp. 882-894 (1994).
- [Ohsuga93] Ohsuga, S.: How can knowledge-based systems solve large-scale problems?: model-based decomposition and problem solving, Knowledge-based systems, Vol. 6, No. 1, pp. 38-62 (1993).
- [Swanson87] Swanson, Don R.: Two Medical Literature that are Logically but not Biologically Connected, Journal of the American Society for Information Science, Vol. 38, No. 4, pp. 228-233 (1987).