

テクノロジーマップによる研究開発支援システム

戸田 光彦

1. はじめに

21世紀に向けた各国の国際競争力強化の取り組みが研究開発戦略の考え方に変化をもたらしている。

国際的には、国の研究開発に目標を与え総合的な効果を目指す「戦略研究」概念の広がりがある。米国や英国における活発な取り組みに影響されてわが国でも検討され、研究開発重視の政府方針のもとに政策的に取り組まれている。

このような事業環境の変化に対応して、企業でもテクノロジー戦略の見直しが必要になっている。加速する技術進歩は、効果的な研究開発を進めて競争に勝つ戦略を支援する情報システムを必要としている。

本稿では、マクロな「戦略研究」やミクロな企業のテクノロジー戦略における研究開発マネジメントを支援する手段として有用なテクノロジーマップの考え方を紹介し、それにもとづく実験的な研究開発支援システムで得られた経験について述べる。

2. 研究開発マネジメント

2.1 戦略研究

「戦略研究」(strategic research)は、近年英国や米国で議論されている概念であり、両国で見方は異なる。しかし、一国の研究開発活動をマクロにみて協奏的に進めよう、という基盤にある動機は共通している。

英国では、「戦略研究」という概念は、科学研究と産業活動の距離を短縮する目的で考えられた [1]。従来の(基礎研究)－(応用研究)という研究分類の中間に戦略研究というカテゴリーを導入し、

(基礎研究)－(戦略研究)－(応用研究)

という図式において、戦略研究は「すぐには応用でき

ないが、将来産業上の応用の可能性をもつ研究」と定義されている。したがって、従来「目的基礎研究」と呼ばれたカテゴリーにほぼ対応している。

米国では「戦略研究」は、冷戦後の研究予算配分の拠り所となる概念として、NSF(国立科学研究財団)等で検討されている [2,3]。戦略研究は「米国が世界の経済戦争でリーダーシップを確保する」という国家利益に応える研究活動と位置づけられている。したがって、戦略研究を「一国の産業・経済ニーズに応えることを意図した科学研究」とし、NSFの1994年計画において、先進的製造技術、気候変化、バイオテクノロジー、高性能計算機技術、の4戦略分野の研究に予算が重点配分された。このような戦略研究の計画に必要な要素として、目標、明確な中間目標(mile-stone)、測れる評価基準、があげられている。

英米両国の動きはわが国にも波及しており、1995年の日本学術会議総会において、伊藤会長がわが国における戦略研究推進の必要性を指摘している [1]。情報通信と研究開発重視の政府方針もこの流れに影響されたものであるが、世界的な情報スーパーハイウェー指向の技術発展に対応する日本の技術力強化に向けた政策であり、各種の予算措置がとられている [4]。

各国の戦略研究重視政策は、国の発展を促す各種ニーズに応じて多様な研究シーズを協奏的に育てるために、マクロレベルで目的指向の研究開発マネジメントを行なおうとする動きと考えられる。したがってその実行に際しては、多様なニーズとシーズを関係づけ、目的に向かう道筋を適切に把握することが必要になる。

2.2 テクノロジー戦略の企画

企業のテクノロジー戦略を推進する研究開発マネジメントでは、企画の重要性を忘れてはならない。

企画作業を一般的に表現すれば、ある目的を達成するために、現状を分析し、将来の状況を予測して、現

とだ みつひこ 富士通研究所・情報社会科学研究所
〒410-03 沼津市宮本140番地

状から望ましい将来へつなぐこと、といえる。企画の技法として、定量的予測手法やソフト・テクノロジーとともに、企画対象の要素を組み立てていく過程でマトリックスの活用が勧められている。特にニーズ・シーズマトリックスは、新製品の企画において、「ニーズとシーズをドッキングさせるためのストーリーづくり」を実現するための技法として有効である [5]。

テクノロジー戦略の具体策として新製品・新事業探索法を提唱する近藤が実践を勧めるのは、技術(のニーズ・シーズ)マトリックスを使って戦略要素をシステムティックに総合化するアプローチである [6]。たとえば、新製品の開発活動に入る前のビジネス機会探索の一手段として、表1のようなニーズ・シーズマトリックスを使って、自社資源と事業機会の関連の分析を行なう。

2.1節で紹介したマクロな戦略研究の立案と2.2節のミクロなテクノロジー戦略の企画の過程には、次のような共通点がみられる。

- ①何らかの目的に対して目標を設定し、現状とのギャップを埋める方策を探る。
- ②研究開発対象の要素を整理・統合し評価する、という「情報を構造化」する過程である。

②で情報を構造化する際、複雑な対象の構成要素を対応するキーワードで表現し、それらの二項関係を積み上げていく(たとえば表1のようなマトリックスで2項関係を統合する)ことが効果的である。

3. テクノロジーマップと研究開発支援システム

研究開発活動において、目標を設定し、その目標に向かって現状から辿るべき道を計画、立案することは

表1 ニーズ・シーズマトリックス

	ニーズ シーズ	エネルギー			資源			情報		
		A	B	C	D	E	F			
製品	a									
	b									
技術	・									
	・									
生産	c									
	d									
技術	・									
	・									
材	e									
	f									
料	・									
	・									

大変重要であるが、表1のようなマトリックスや関連樹木図の作成の他には方法論が研究されていない。

本節では、ニーズ・シーズ概念で研究開発対象の要素を表現し、その間の関係を統合的に表示するテクノロジーマップ(研究分野地図と呼ぶ)を作成して、研究開発マネジメントを支援する方法を述べる。

このマップは、目的とする分野に関するテクノロジー環境を把握し、それを活かした研究開発目標と到達計画を設定するのに使用できる。さらに、その計画に対して、研究開発活動の実際をチェックすることができる。他方、環境の変化に伴ってマップを更新することにより、不確実なテクノロジー環境の変化に対応して計画を適応させることができる。したがって、この方法論にもとづく研究開発支援システムを構築することによって、研究開発活動の企画から推進段階までのマネジメントを支援することができる。

以下では、ニーズ・シーズ把握の考え方、情報の体系化と蓄積の方法、テクノロジーマップの作り方、支援システムの構築とそれを使った実験結果の概要を紹介する(詳細は文献 [7,8] を参照されたい)。

3.1 研究開発に関するニーズ・シーズ情報

研究開発の重要な成果であると同時に、情報源でもあるオリジナル論文には、通常図1に示すように、研究の動機、従来の研究、成果、将来の課題、が含まれている。この論文からテクノロジーのニーズとシーズを抽出することを考えてみよう。

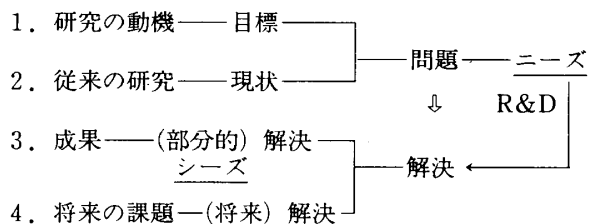


図1 オリジナル論文の4要素

研究の動機は、社会的要請、未知分野解明の欲求等を含み、目標設定の動機となり、従来の研究は、目標に対する現状を意味する。この2つの差(ギャップ)の認識が研究における問題であり、研究のニーズである。問題を明確にしてテーマを設定し、実施された研究の成果が論文の中心テーマであり、設定された問題に対する解決を示しているが、部分的な解決であることが多い。この時には、普通、将来解決すべき残された課題が議論されている。したがって、各論文で報告されている成果は、問題解決の手段となるシーズであ

る。各種論文の内容は、上記の視点で、研究のニーズとシーズを表現するキーワードを使って関係づけることにより、分類整理できる。

論文を例にとって研究情報を整理する考え方を議論したが、論文以外の情報も同様に分類することができる。表1のニーズ・シーズマトリックスは、新製品・新事業探索の視点で、ニーズとシーズの関係情報を抽出し、まとめて表現したものであるが、そのニーズ・シーズ項目と関係は、技術者や企画担当者が専門知識と市場・技術調査にもとづいて得たものである。「戦略研究」立案のようなマクロレベルでのニーズ・シーズの把握は、研究開発マネジメント担当者が各分野の専門家の協力を得て、国際環境や研究動向についての広範な調査にもとづき行なうものとなる。

3.2 研究開発支援システム

ニーズ・シーズ情報からテクノロジーマップを自動的に作成して、研究開発過程を一貫して支援することを意図したシステムRDSS (Research Decision Support System: 研究開発向け意思決定過程支援システム) を下記の考え方で試作した。

(1) システムの概要

研究開発活動は図1のような問題解決活動と考えることができるが、その問題設定局面である計画の各段階は「意思決定過程の段階」[9] と対応づけられる。

すなわち、関連分野における関係情報等から問題意識を形成する「A. 情報活動」、断片的情報を効果的に整理して問題を明確にする「B. 設計活動」、解決方法を選ぶ「C. 選択活動」という意思決定の各段階は、以下の具体例で示すように、探索的な研究開発計画作りの段階と対応している。RDSSでは、このような「情報の構造化」過程を一貫して支援する次の機能を実現している。

- ①文献情報等の断片的に集められた情報を、研究ニーズとシーズを表現するキーワードを使って体系化分野データベースで整理・蓄積し (情報活動の支援)、
- ②キーワードが表現する研究分野の概念間の関係を研究分野地図で整理・表示し (設計活動の支援)、
- ③研究分野地図上で重要度を考慮した研究開発パスの選択を行なう (選択活動の支援)、

過程を助けるシステムであり (図2 a), 研究目標の設定と計画の立案, 推進過程の支援を目的としている。図2 aに示すように、ユーザーは情報をシステムに蓄積し、段階的に構造化していく。次の段階に移る時にユーザーがシステムに蓄積された情報を対話的に修正したり、追加できるようになっている。

①と②、③の機能は、それぞれ、データベース管理システム (DBMS)、視的Qアナリシス (VQA)、システム化計画法 [10] により実現している。試作システ

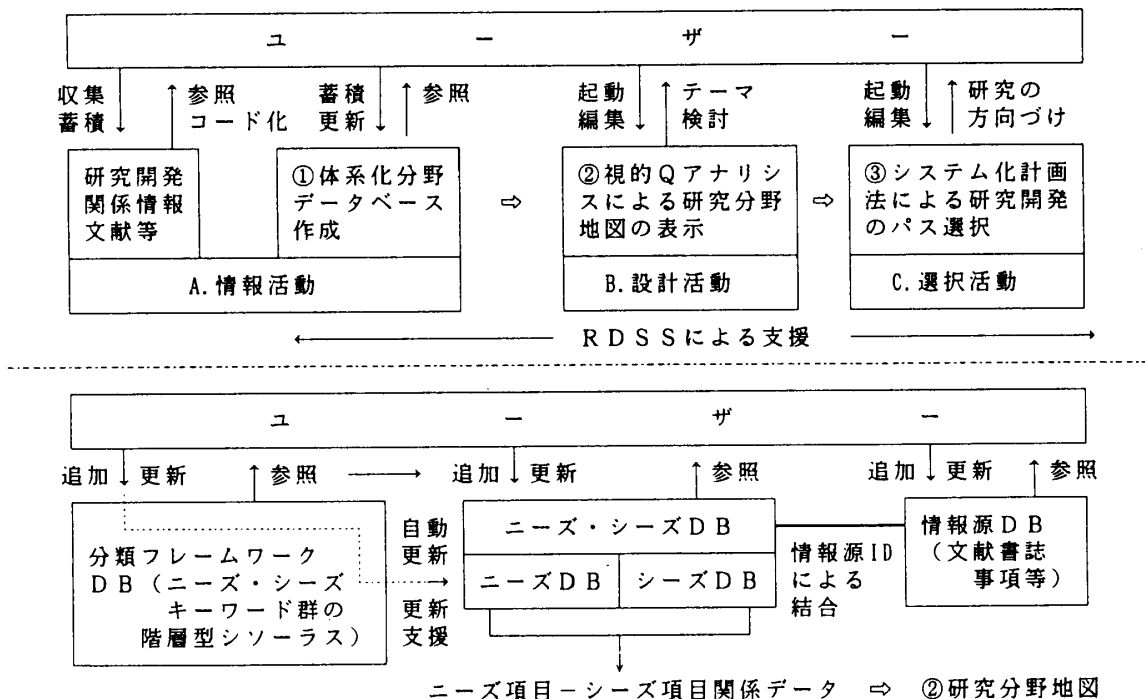


図2a 研究開発向け意思決定過程支援システムRDSSの機能 (上)

図2b RDSSの体系化分野データベース作成支援機能 (下)

ムはワークステーション上に実現し、カラーグラフィックスシステムを利用してテクノロジーマップ（研究分野地図）を表示するとともに、ユーザーインタフェースを工夫して編集できるようにしている。

(2) 体系化分野データベース作成支援機能

機能実現のための構成を図2bに示す。基本的な関係データベース管理システムの上に体系化分野データベースに特有な機能を追加して実現した。研究対象となる分野に関する文献を中心とした情報を収集し、3種類のデータベース（DB）；ニーズ・シーズDB、分類フレームワークDB、情報源DB、に蓄積する。

① ニーズ・シーズデータベース

各情報源が扱うニーズ・シーズ項目をキーワードの形で蓄積し、情報源でこれらに関係づける。たとえば、（ニーズ項目n）- {情報源i} - （シーズ項目s）という断片的情報をニーズ・シーズDBに蓄積することによって、シーズ項目sがニーズ項目nに利用可能であることを示し、同時に、情報源iがニーズ項目nとシーズ項目sを関係づける研究情報を提供することを蓄積する。種々の情報源から抽出されたニーズ・シーズ項目をDBに蓄積していくことにより、ニーズ・シーズ項目群間の多様な2項関係が得られる。

② 分類フレームワークデータベース

ニーズ・シーズDBに使われるキーワードをツリー形式で階層構造化したシソーラス（語彙集）を分類フレームワークと呼び、分類フレームワークDBに蓄積する。図3にDSS（意思決定支援システム）分野の分類フレームワークの例を示す。図3は、後出の実験（3.3節）で使用するキーワードを選択した分類フレームワークDBの一部を示したものである。分類フレームワークは、ニーズツリー群とシーズツリー群に大別され、各ツリーでは、研究分野の重要な概念を表現するキーワード群が、広い概念から狭い概念の順に、大項目、中項目、小項目、詳細項目#1、…、と必要に応じて詳細化して表現される。

研究開発分野に関する情報が不足している場合、詳細な分類フレームワークが始めから存在しているわけではなく、ニーズ・シーズDBに情報を蓄積しながら、逐次、追加・修正を繰り返して構築していく操作が必要になる。RDSSは、この更新作業の支援機能を提供して、対象分野に関する重要な研究項目・テーマを体系化する作業を容易にしている。この分類フレームワークDB作成支援機能は、技術マトリックス（2.2節参照）の項目を作成する時にも使用できる。

③ 情報源データベース

情報源の属性を蓄積するDBである。文献情報の場合、文献のタイトル、著者、出典などの書誌事項を蓄積し、ニーズ・シーズDBと結合して使用する。

(3) テクノロジーマップ：研究分野地図

ニーズ・シーズDBにVQAの手法を適用し、研究開発対象となる分野のニーズ・シーズの関連、および、各シーズの多様なニーズに対する寄与の程度を示す研究分野地図を階層グラフの形式で表示する。この地図は、研究分野の全体像や動向を把握しながら研究を方向づけ、進め方を検討するためのテクノロジーマップの機能を提供する。

VQAは、2つの集合間の2項関係を入力にして、各集合の要素間の結合関係を階層グラフとしてモデル化する方法である。図4にDSS研究に関するニーズ群とシーズ群の2項関係の簡単な例を2部グラフの形式で示す。これらのニーズやシーズ項目は、図3の分類フレームワークから選択されたものである（項目番号と対応する英文の省略記法で示す）。図4の2項関係にVQAを適用することによって、研究分野地図I（図5a）と研究分野地図II（図5b）が得られる。いずれもニーズ・シーズ節点を、表示するシーズの個数（ニーズ節点の場合は利用可能なシーズの個数）に対応する階層のレベルに配置したグラフである。図では、ニーズ節点を実線枠の長方形で表示し、シーズ節点を破線枠の長方形で表示している。地図作成手順の詳細は文献[10]を参照されたい。

図5では、右端のレベルは利用可能なシーズが1のニーズ（またはシーズ自体）を示し、左に向かってシーズの数が1ずつ多くなる。たとえば、図5aではニーズ節点3.4.6は図3のニーズ3.4.6を示し、レベル1に表示されている。これは、ニーズ3.4.6に利用可能なシーズが1つ（4.6）あることを示している。

研究分野地図I（図5a）は、各ニーズに対し、利用可能なシーズ（群）を結合したものであるが、複数のニーズが複数のシーズを共通に利用可能な場合は、それらのシーズをまとめて1つの節点として表現している。レベル4のニーズ節点3.2.4とレベル3のニーズ節点1.6.2は、ともにレベル2のシーズ節点（4.4&4.8）に結合されている（破線の枝による結合）。これは、これらの2つのニーズのためには、シーズ節点で表示されている2つのシーズ4.4と4.8が共通に利用可能であることを意味している。

研究分野地図II（図5b）は、地図Iを簡略化して、

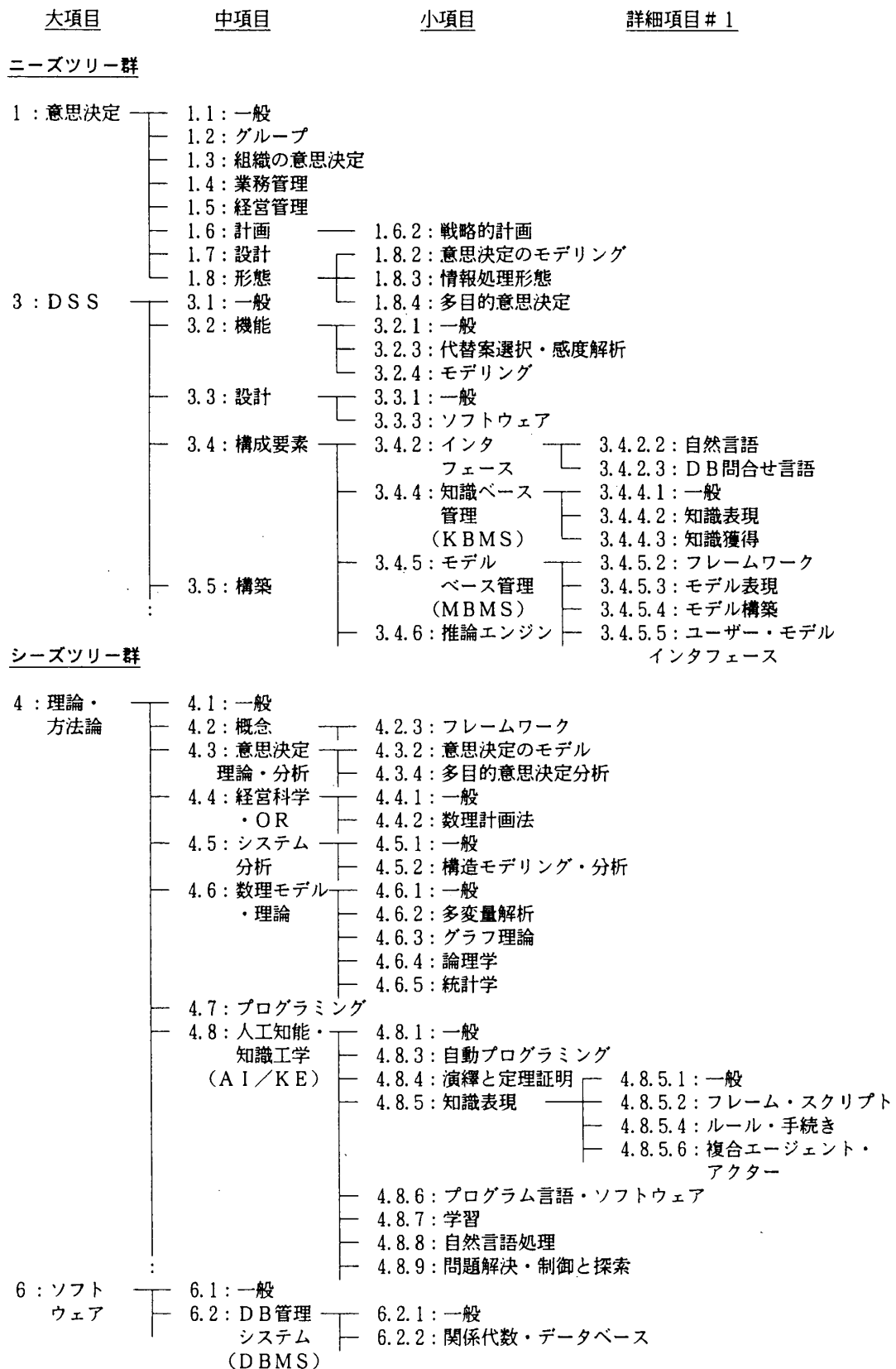


図3 分類フレームワークの例 (DSS分野のキーワード)

ニーズ節点間の関係に関連樹木図の形で表示したものである。この地図では、あるニーズのための技術を開発することによる他の技術への波及効果の大きさを表現するため、ニーズ同士の結びつきの強さを共通に

利用可能なシーズの連鎖にもとづき示している。したがって、地図IIでは、レベルの高い節点で結合しているニーズ節点群ほど、研究開発の相互波及効果が大きい。図5bの例では、ニーズ節点3.4.5 (レベル6)

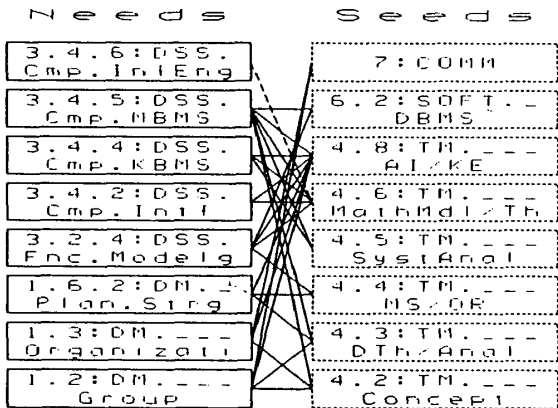


図4 ニーズ群とシーズ群の2項関係グラフ

と3.2.4 (レベル4), 1.2 (レベル4) がレベル3のニーズ節点 (1.3 & 3.4.4) で結合しているが、これらのニーズ群のなかでは、3つのシーズを共通に利用可能であるという点で、相互波及効果が大きいことを示す (詳細は図5aを調べることによって判る)。

(4) 研究分野地図のカラーグラフィックス表示

VQA適用の結果得られた階層グラフは、カラーグラフィックス上に表示され、次の機能をメニューで操作

することができる。

- ①複数のグラフのマルチウインドウ表示機能
- ②グラフの拡大・縮小・回転表示機能
- ③グラフの編集・記憶機能
- ④節点の重み付けによる部分グラフ表示：各節点に重み情報を付加し、部分グラフを段階的に表示する。この機能は、グラフの重要な部分に焦点を絞って分析した後、順次表示部分を拡大して、全体像を把握する場合や、研究開発パス選択の表示に利用される。

(5) 研究開発パスの選択支援

研究開発の目標設定と計画立案、すなわち、どのようなニーズに対する研究開発をどのシーズから始め、統合していくかを、研究分野地図上のパス選択の問題として検討することができる。これを支援するための方法論として、ニーズやシーズの波及効果に注目したシステム化計画法 [10] を使う。

システム化計画法では、多様な要素技術を組み合わせる新機能を賦与する技術をシステム化技術と呼ぶ。ニーズを充足するためのシステム化技術と要素技術 (シーズ) の関係をまとめて示す研究分野地図 I にも

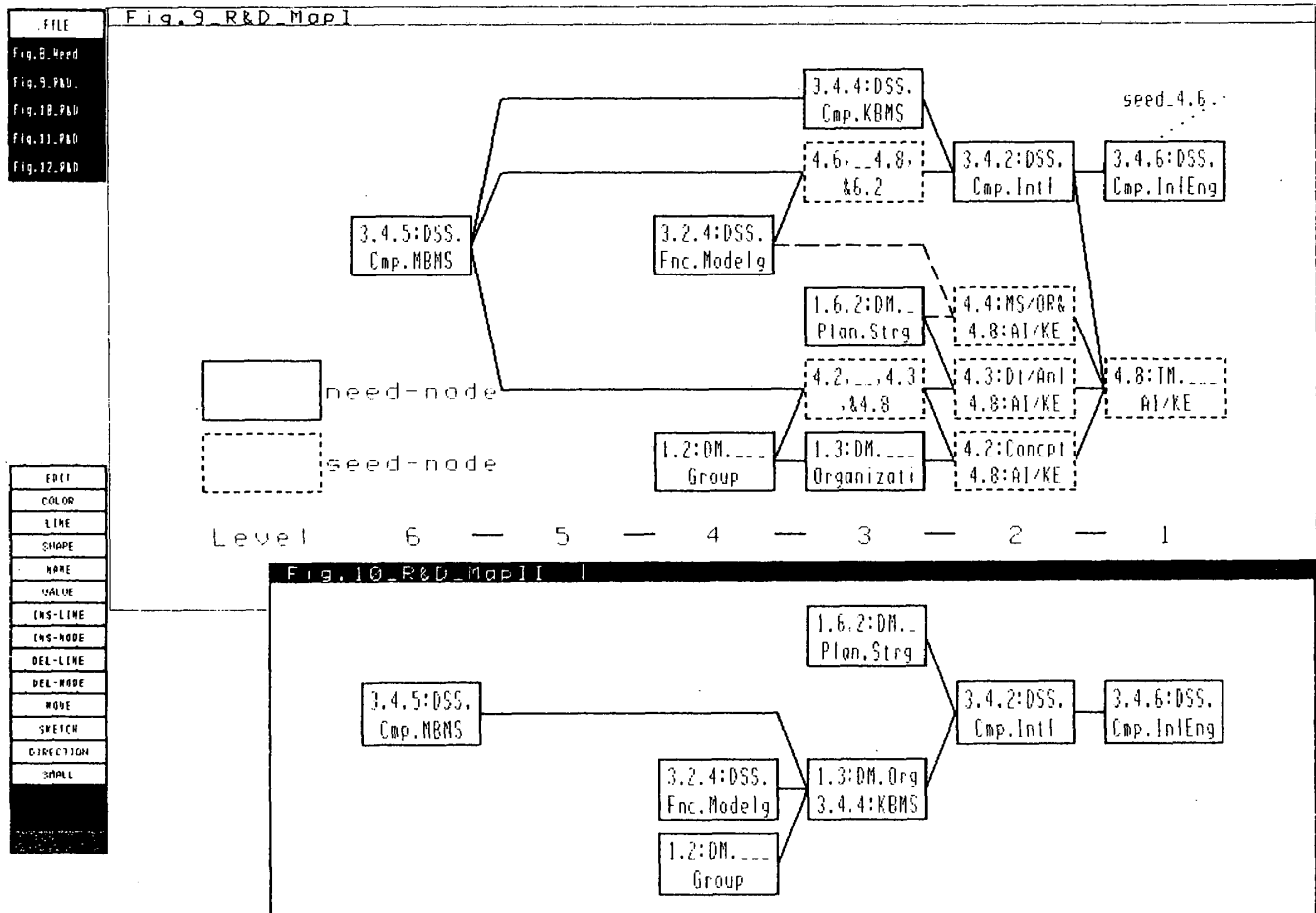


図5a 研究分野地図 I (上)

図5b 研究分野地図 II (下)

とづいて技術開発戦略の策定を支援する方法である。個々のシステム化技術の重要度を評価する指標として、波及効果の大きさをあらわす合心率を計算し、各要素技術の効用を定量的に評価する効用指標を計算する。これらの指標を使って、研究分野地図 I 上で開発パスの選択を行なうアルゴリズムを作ることができる。

RDSSでは、このシステム化計画法を研究開発テーマの選択に利用し、研究分野地図上で、重要度の大きいニーズに対応するパスを選択していくことにより、効果的な研究開発順序を検討することができる。

3.3 試作システムを使った実験

(1) 実験の概要

試作したRDSSを使って、DSS(意思決定支援システム) 研究開発の方向づけ支援を課題とする実験を行なった。DSS 研究に関する専門誌である 'Decision Support Systems' 掲載の論文(1986年と1987年分の44件) を情報源とし、DSS 研究の動向を把握し、将来の高度なDSSニーズに対応する研究開発の方向づけを目的として行なった。

(2) 実験結果と知見

RDSSの構築者である筆者自身がユーザーとなり、システムの対話的支援機能を使ってDSS分野の体系化DBを作成した。キーワード116(うち56/60はニーズ/シーズを表現) からなる分類フレームワークを作成したが、これらは、上記の情報源の偏りを補完するため、DSS 研究に関する他の情報源や、筆者の経験をもとにして得られたものである。

情報源の44論文で扱われているニーズは25、シーズは28であり、図3のツリー構造DBが得られた。これらのニーズとシーズの二項関係群にVQAを適用して得られた研究分野地図 I を図6に示す。図6では、各節点の背景の濃淡で効用指標の大きさを示す(背景が濃い節点ほど効用指標が大きい)。図6のもととなったニーズ・シーズDBの項目を集約し、注目すべきニーズ・シーズ関係のみを編集して得られた研究分野地図 I と II が図5である。

図6を観察することにより、以下の知見が得られる(図との対応の詳細は [7,8] を参照) :

DSSニーズとしての関心の高さは地図上のレベルの

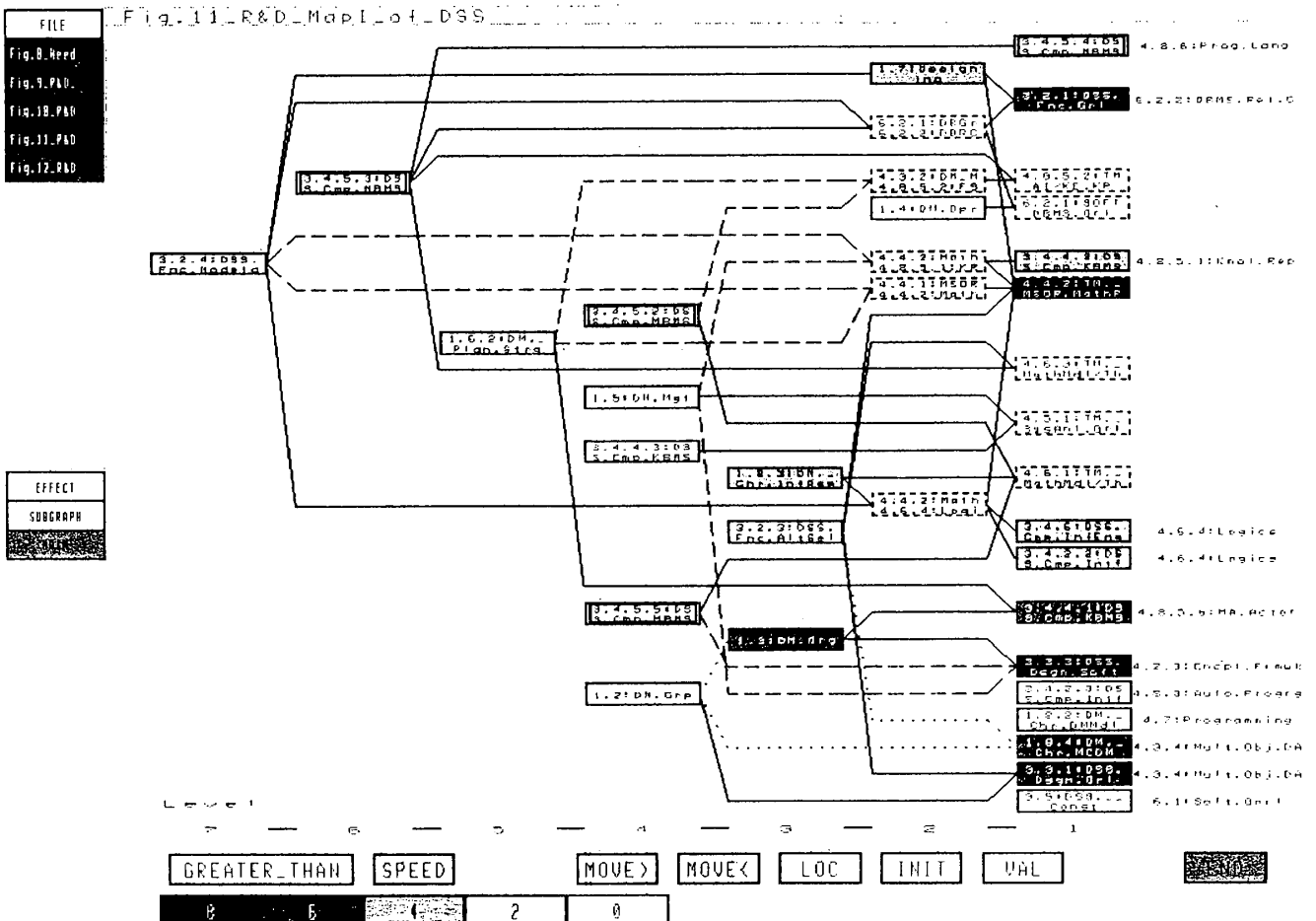


図6 DSS分野の研究分野地図 I

高さで示されるが、最も関心が高いのはモデル作成支援機能である。経営管理における意思決定への関心が高いのは当然だが、関連する戦略的計画における意思決定はそれ以上である。グループ意思決定のニーズも関心を集めている。これらのニーズを充たすのにモデル作成支援機能が必要とされている。

シーズとしては、最初にレベル1の節点群に注目し、続いてそれらと結合しているレベル2以上の節点群を辿って調べる。これらの節点は複数のニーズに利用可能なシーズまたはシーズの組合せを表示しているからである。レベル1では、3つの重要なシーズのカテゴリ、人工知能・知識工学 (AI/KE)、データベース管理システム (DBMS)、マネジメント科学/オペレーションズ・リサーチ/意思決定分析 (MS/OR/DA)、が判る。もう1つの重要なシーズのカテゴリは、DSSの概念/フレームワークである。これは、DSSの概念フレームワークを確立しようとする研究の成果を表示しており、DSS分野固有の重要なシーズである。上に述べたニーズやシーズの重要性は、図5に集約して表示されているが、図6でそれらの節点群の効用指標の値が大きい（長方形の背景が濃い）ことでも確認できる。

上記の知見は単一論文誌の2年分の論文のみが情報源であるので、DSS研究の限られた情報を観察しているにすぎない。しかし、通常研究者が論文誌にざっと目を通すことによって脳裏に描く研究動向のイメージが、これらの図によりモデルとして示され、明確に情報を位置づけ、関係づけて把握できる。さらに、このDBに情報を追加する時に、正確かつ柔軟に利用できる形でシステムに蓄積されている支援効果は大きい。実際、上に述べた実験に続いて、1988年分の33論文のデータをDBに追加し、計77論文を情報源とする同様な実験が容易に実行できた。その結果、上記の知見を確認し、さらに、追加データによる新しい特徴的な動向が観察できた。

このようなDSS研究の動向把握は、単一の論文誌を詳細に分析した結果であるが、筆者が他の情報を加味して把握している動向とよく合致しており、その詳細を研究分野地図というテクノロジーマップの作成によって明確に示したものと見える。

システム化計画法は、一般に、多様な情報源から得られた体系化DBにもとづく場合、広範な分類フレームワークと地図が得られるので、マクロな研究動向の把握と研究の方向づけに適している。他方、ミクロなニ

ズ・シーズ情報とその関係のDBを作ることによって、テクノロジー戦略の企画を助けることができる。

4. おわりに

RDSSは、対象分野の環境情報、活動の進捗情報の蓄積に伴って状況を把握し、変化・発展する研究開発活動をダイナミックに方向づけるツールとして有用であり、グループで研究開発を行なう場合のグループ内コミュニケーションのツールとしても利用できる。

RDSSの機能は、ニーズ・シーズマトリックスを使った従来のテクノロジー戦略の分析・評価を拡充できるであろう。関連技術動向を分析するには、単にマトリックスで表現するより、テクノロジーマップ（研究分野地図）の方が技術の関連度を大局的に把握するのに適している。「戦略研究」の立案と推進には、マクロなニーズ・シーズ項目とその関係を抽出することが難しいが、RDSSはその後の情報の構造化を支援するツールとして利用できるであろう。

参考文献

- [1] 伊藤正男：日本学術会議の課題－高度研究体制を目指して－、日本学術会議121回総会基調報告、18p. + 資料、(1995.4.20).
- [2] Anderson, C.: 'Strategic research' wins the day., *Science*, Vol. 259, No. 5091, p. 21, (1993).
- [3] Mikulski, B.: Science in the national interest, *Science*, Vol. 264, No. 5156, p. 221, (1994).
- [4] 概算要求に見る科学技術新政策－戦略的基礎研究推進事業、日経産業新聞、(1995.9.12).
- [5] 水野他：企画の基本、日本能率協会、(1981).
- [6] 近藤修司：新版「技術マトリックス」による新製品・新事業探索法、日本能率協会、(1985).
- [7] 戸田他：知能化技術と意思決定支援システム、IV章「戦略的経営・研究開発向け意思決定過程支援システム」、計測自動制御学会、pp. 110-141, (1994).
- [8] Toda, M. et al.: Information Structuring and Its Implementations on a Research Decision Support System, *Decision Support Systems*, Vol. 7, No. 2, pp. 169-184, (1991).
- [9] サイモン：意思決定の科学、産能大出版部 (1979).
- [10] Sugiyama, K. & Toda, M.: Visual Q-Analysis, *Cybernetics & Systems*, Vol. 14, No. 2, pp. 185-251, (1983).