

ハイパーメディアにおける情報間の関係づけについて

原 良 憲 笠 原 裕

日本電気（株） C & C 情報研究所

本論文では、大量情報をハイパーメディア上で扱う際の情報間の関係づけについて、問題点の抽出とその解決方策について述べる。問題点は、インスタンス情報間のみのリンキング、リンクの静的性等によるリンクの複雑化、利用の限定にあり、関係スキーマの導入、動的な関係づけ、関係種別の整理が必要である。これらの実現方策として、多次元情報属性空間中の関係表現、トラバースによる動的な関係づけ、オブジェクト指向に基づく関係づけの整理を提案し、電子美術百科事典を例に機能検証を行った。関係のうち集約化できるものに対しては、情報リンキング数を減らすことが可能であり、かつ集合操作による多様な情報提示の実現を行うことができる。

Issues on Hypermedia Linking Strategies

Yoshinori Hara and Yutaka Kasahara

C&C Information Technology Research Labs.,

NEC Corporation

4-1-1, Miyazaki, Miyamae-ku, Kawasaki,
Kanagawa 213, Japan

This paper discusses the issues on hypermedia linking strategies in case of handling large amount of information. Linking schema introduction, dynamic linking mechanisms, and link-design guide are necessary to cope with complex links. First, we propose the linking schema which comprise multi-dimensional information space to relate each object. Second, a dynamic linking operation called Traversing to retrieve and browse through the space. Finally, an object-oriented link management allows users to design and/or customize links. These linking strategies make it possible to decrease the number of links and to provide a wide variety of hypermedia browsing.

1. はじめに

近年、情報電子化の有効な利用形態として、ハイパーテキスト／ハイパーメディアが脚光を浴びている。紙の本や資料は、その物理的制約から、冊子、ページといった一定の構成単位で、しかも主に逐次的にしか情報内容を提示できないメディアであるのに対し、ハイパーテキストは、適切な情報内容の単位で関連情報を直接関係づけ、目的に応じて必要な情報を迅速に提示できる電子メディアである。たとえば、紙の百科事典では、関連情報を何分冊にもわたって捜さねばならないが、ハイパーテキストでは、いつも隣接ページにあるかのように関連情報を利用できるのが特徴である。また、ハイパーメディアは、ハイパーテキスト上の提示情報を、文章だけでなく、静止画、音声、音楽、動画といったマルチメディア情報へと拡張させたものである。このようなマルチメディア情報利用は、情報表現能力の向上や、コミュニケーションチャネルの広がりに貢献し、ハイパーテキスト性と同様、情報電子化の重要な特徴となっている。

ハイパーテキスト／ハイパーメディアの特徴を生かしたシステムは、ブラウン大学のインタメディア[YAN 85, YAN88]、アップル社のハイパーカード[G0088]、日本電気のメディアミックスブック[HAR87, HAR88-1, 2]、ビデオブック[OGA88, OGA89]、文書作成支援[HIR88, HIR89]等、研究試作、商用を含めて、多数開発されており、その効果が十分認識されているといえる。

いま、ハイパーテキスト／ハイパーメディアの概念は、個人の情報利用ツールや、スタンドアロン型のCD-ROM出版だけでなく、大規模電子出版、協調型情報創作支援、データベースインタフェースなど大規模多目的に適用範囲を広げつつある。これにともなう、いくつかの本質的な問題点も顕在化してきた。たとえば、ハイパーテキスト／ハイパーメディアでは、情報の関係づけによる利用の効果は指摘されているものの、どのような情報の単位で、どのように情報の関係づけをおこなえば良いのかといった指針が明確になっていない。この点は、システムが大規模になった時や、システムを長期にわたって使用する時、及び、複数の人が共有利用する時に、特に問題である。多種多様の情報が複雑にからみあったものを再整理して、情報を活性化する作業は非常に困難であり、システム運用の限界要因となってしまう。

そこで、本論文では、まず、ハイパーテキスト／ハイパーメディアの本質的な検討課題の1つである情報間の関係づけに対して、問題点を抽出、整理する。次

に、これらの問題点に対して、データベースの観点から、対応策の検討を行う。そして最後に、筆者らが従来から開発を進めているメディアミックスブックの機能との対応につき述べる。また、以下では、ハイパーテキスト／ハイパーメディアを総称してハイパーメディアと呼ぶこととする。

2. 情報間の関係づけの問題点

一般に、情報の登録・整理・更新作業の労力と、情報検索・提示といった利用の多様さとは、トレードオフの関係にある。すなわち、簡単な情報入力作業で済ませたければ、検索方式や提示方法も画一的で制限のあるものにならざるを得ない。また、多様な利用の要求を満たすには、多くの属性情報、インデックス情報、関係情報を付与し、登録作業に労力をかけねばならない。これは、ハイパーメディアだけでなく、文献検索、電子ファイリング等、情報の蓄積・検索にかかわるシステム全般に共通することである。特に、個人利用環境の場合、情報作成と利用の操作を同一者が行うので問題である。

従来のハイパーメディアにおける関係づけは、図2-1のような構造をとっており、上述のトレードオフに対し、簡単な情報入力操作の方を重視しているものが多い。マルチウィンドウ、ポップアップ／プルダウンメニュー、マウスを用いた操作性のよいインタフェース上で、簡単な指示により、情報間のリンクづけを行わせている。これにより、個人利用の情報操作ツールや、一般利用者による情報入力の場合には、快適なものとなっている。

しかしながら、ハイパーメディアの適用範囲を、大規模情報利用、長期間利用、複数利用者の共有利用といった状況まで広げた場合、いくつかの本質的な問題点が顕在化する。この問題点は、主に下記の理由によると考えられる。

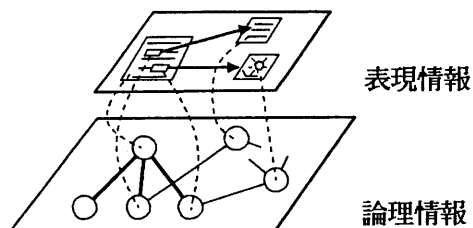


図2-1 ハイパーメディア構造

- ・関係づけはインスタンス情報を対象としている。
- ・関係づけは静的である。
- ・明確な関係の種別分けがなされていない。

以下、各項目の詳細について説明する。

(1) インスタンス情報間の関係表現

ハイパーメディアにおける情報の関係づけは、「この文書とあの文書とを関係づけたい。」というようなインスタンス情報どうしに情報リンクをつけている場合が多い。この理由は、情報の関係づけを、きめ細かくかつ簡単に付与できるためである。

しかしながら、大量情報を扱う状況では、情報リンク数が増大し、しかも更新処理が非常に困難となる。このため、インスタンス情報集合間の関係表現(クラス間の関係表現)の導入が不可欠である。すなわち、データベースにおけるスキーマの概念を組み込む必要がある。スキーマを導入すると、オブジェクト間のリンク数が軽減される。

(2) 静的な関係表現

ハイパーメディアにおける情報遷移は、あらかじめ決められたリンク上しかたどれず、また通常、設定されたリンクは、指示を行わない限り変化しない(静的である)ことである(図2-2参照)。紙の文書と比較した場合、ハイパーメディアは、ある情報から複数個の関連する情報へ直接遷移できるという点では有利である。しかしながら、この程度の関係情報は、紙の百科事典では既に存在しているものであり、たとえば、「～を見よ」、「～と同義」といったかたちで記載されている。この点での電子化の特徴は、情報間の関係づけに新規性があるのではなく、複数の本における関連情報をひく労力をなくすことができるインタフェース面にあるといえる。したがって、情報電子化による利用の可能性を広げるためには、静的な情報リンクだけでなく、動的、適応的な情報の関係づけ機能を提供する必要がある。

また、情報遷移に対して、手続き情報を記載できるプログラマブルな表現を行えるものもある[CON87, G0088]が、あらかじめ記述しておかねばならないところに問題がある。

(3) 関係の種別わけ指針の欠如

ハイパーメディア上の情報リンクの種類は、意味的なもの(概念の抽象、詳細、同類、…)、構造的なもの(タイトル、章、節、…)、表現メディアを示すもの(静止画、音声、動画等へのリンク)など、多数存

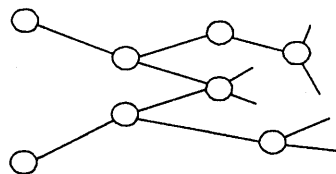


図2-2 静的な関係表現

在する。にもかかわらず、関係付与の時点や関係利用の時点において、設計・利用指針となるものがなく、個々の利用者のスキルに依存している状況である。

3. 問題点に対する一般的方策

本章では、上述の問題点解決に対応するハイパーメディア構造の拡張につき検討を行う。特に、大規模情報の柔軟な蓄積・管理には、データベース、及びオブジェクト指向モデルの諸概念が有用と考え、適用を試みる。スキーマの導入、関係づけの動的化、設計指針の明確化という点から一般的方策について述べる。

3.1 スキーマの導入

大量情報の蓄積管理に対処するため、スキーマの概念を導入する。すなわち、インスタンス情報間の関係表現だけでは、大量情報の管理は困難なため、インスタンス情報集合間の関係(クラス間の関係)を考慮することである。スキーマの導入による効果は、情報リンクの記述量が減少すること、情報整理が行いやすいこと、集合演算が行えることである。

次に、ハイパーメディアの関係づけ情報を格納・管理する関係スキーマの作成、更新、消滅について検討する。

(1) 関係スキーマの作成

関係スキーマの作成ボタンには、インスタンス情報の作成、関係づけを行う前に、あらかじめスキーマのテンプレートを作成する(トップダウン型)ものと、最初は、インスタンス情報間のリンクのみ行っておき、一定規模以上になると、スキーマの作成を行う(ボトムアップ型)のものがある。後者の場合の方が、前者の場合より適応的であるが、自動的にスキーマを規定することは難しい。また、前者の場合は、スキーマの更新機能がないと、初期設定の際に熟慮を要する。

(2) 関係スキーマの更新

時間が経過すると、関係内容が変化したり、新たな関係が生じたりする。このとき、関係づけ情報を活性化するために、インスタンス情報関係づけの更新と同様、関係スキーマの更新が必要となる。たとえば、国際特許分類は時世に即するため、数年に一度、大幅な体系見直しが行われている。これは、特許間の関連を示す関係スキーマの更新に相当する。

(3) 関係スキーマの消滅

格納情報が減少したことなどの理由により、関係スキーマによる情報の管理が必要なくなる場合がある。関係スキーマに属するすべての関係情報を消滅させる場合（関係づけの消滅）と、関係スキーマで表現されている関係情報をインスタンス間の直接的な関係づけへ転換させ、関係スキーマのみを消滅させる場合（インスタンス情報間のリンクングへの転換）とに対処する必要がある。

3. 2 関係づけの動的化

格納情報の多様な検索、利用に対処するため、動的な関係表現の機構を設ける必要がある。関係づけが動的になると、情報登録時に想定した以外の関連情報の提示が行えたり、時間の経過による変化や、個別利用者の好みに対する変化に、適応的に対処できる。関係づけの動的化には、以下の2つの方策がある。

① 関係演算による動的化

関連情報の提示時に、関係情報の組合せ、論理演算等を行い、適切な関連情報集合を規定しつつ処理を行っていく。

② 時変、主観パラメータ利用による動的化

時間や個人の主観に依存するパラメータを用い、関係づけの重みを変化させる。適切なしきい値を設けることにより、関係づけの動的化をはかる。

3. 3 設計指針の明示

ハイパーメディアの構築・運用を容易にするため、関係づけに対して適切な設計指針を明示する。下記の項目の明示が少なくとも必要である。

① 関係種別の整理

意味的な関係、構造的な関係、表現メディア等の関係等、種々の関係の整理を行う。

② 関係構造の整理

関係スキーマを利用する際の指針を明示する。また、インスタンス情報間の関係づけしか意味をなさない関係もあるので、適用する関係構造の整

理をおこなう。たとえば、インスタンス情報間の提示シーケンスに意味を持つ場合や、コンポジットオブジェクトの関係（構成要素に対する関係）[BAN87]等である。

③ ハイパーメディア構造の評価

関係構造が複雑になったり、特定情報に偏ったりした場合、適切な構造変更を促す評価法が必要である。

4. メディアミックスブックにおける対処方策

メディアミックスブックは、筆者らが開発中のハイパーメディア構造をもつ電子ブックである。開発意図は、紙の良さを引き継ぎつつ、電子化情報の特性をいかした「電紙メディア」[TAM88]の実現にある。現在のシステム構成は、多機能ワークステーションN5300/ADをベースに、イメージ／音声処理機構を付加したものである。マルチメディア情報として、文章、カラー静止画、音声／音楽データが扱える。

以下では、前章で検討した、ハイパーメディアにおける情報関係づけ方策を勘案し、開発・改良をおこなった本システムの機能・特徴について、美術百科事典を例に説明する。

4. 1 多次元情報属性空間に基づく関係スキーマ

本システムでは、情報利用の多様性を広げるため、多次元情報属性空間の関係スキーマを用いている。図4-1のように、情報属性空間が多次元になり、この空間を介して関連情報の提示が行える点が、ハイパーメディア構造である。（紙の文書の場合は、ページという1次元空間中に各インスタンス情報を対応づけている。）

多次元情報属性空間を規定する軸（次元）は、以下に説明するように分類型とキーワード型の2種類がある。

(1) 分類型情報属性軸

インスタンス情報を登録する前に、あらかじめ、軸内の項目を規定しておく情報属性軸である。項目がカテゴリ尺度ならば、項目間に階層関係をもたせて、多次元多階層分類となる。多次元多階層分類は、時間、場所、内容等の種々の観点から、詳細の程度に応じて階層的に、対象情報を整理・関係づけるものである。また、軸内の項目は、順序リストとして表現できるので、カテゴリ項目だけでなく、順序項目、比例項目も適用可能である。

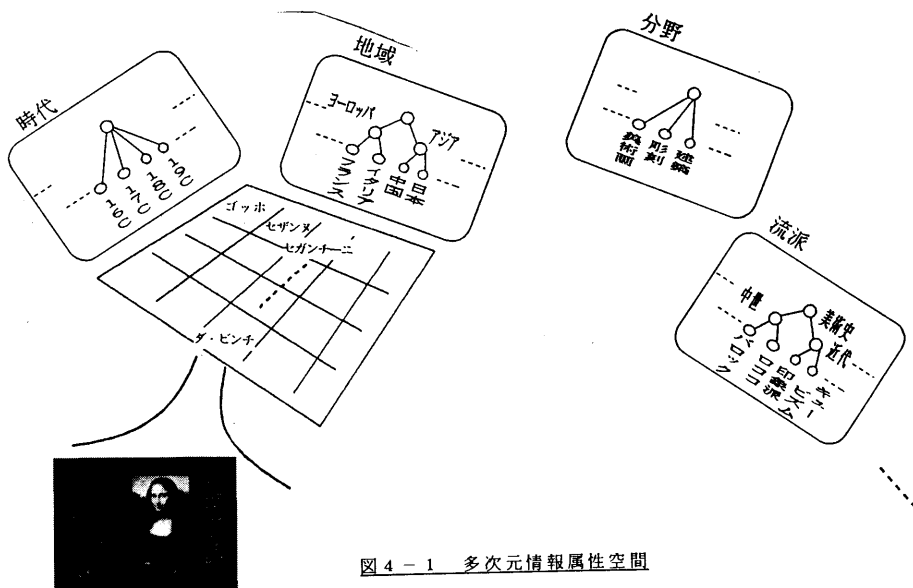


図4-1 多次元情報属性空間

(2) キーワード型情報属性軸

インスタンス情報を登録する際に、軸内に該当する項目がなければ、追加していくタイプの情報属性軸である。キーワード型情報属性軸は、たとえば、文献検索におけるフリーキーワードや、著者名やタイトル名などの書誌的項目に相当する。一般に、分類型情報属性軸の項目に比べて、項目数が多い。

4.2 関係づけの方策

情報間のリンク数を減らすため、下記の方策によりインスタンス情報の関係づけを行う。関係づけは、情報、及び情報間の関係を、E-Rモデルにおける「実体」、「属性」、「関係」、及び個別表現メディアを表す「表現実体」にあてはめて対処する。

① 同一実体集合内の関係（「実体」-「属性」-「実体」による関係表現）

同一実体集合（共通の情報属性空間をもつもの）に属するインスタンス情報は、該当する情報属性軸の対応項目との関係をつける。たとえば、実体集合「画家」に属するインスタンス情報「ゴッホ」、「ゴーギャン」等の関係は、直接リンクを行わず、情報属性軸「時代」、「地域」、「流派」等の該当項目とリンクを行う。

② 異種実体集合間の1対1、1対多関係（「実体」-

「関係」-「実体」による関係表現）

異種実体集合のインスタンス間の1対1、及び1対多関係は、共通する情報属性軸との対応づけを行うと同時に、実体集合を区別する情報属性軸を追加し、関係づけを行う。たとえば、実体集合「画家」と「作品」との関係は、1対多関係であるが、①と同様に、情報属性軸「画家名」、「実体集合種別（画家か作品かの区別）」の該当項目とリンクを行う。

③ 異種実体集合間の多対多関係（「実体」-「関係」-「実体」による関係表現）

異種実体集合間の多対多関係は、インスタンス情報間で直接リンクすることにより対処する。これは、インスタンス情報と情報属性軸との関係づけを行うと、表現、操作が複雑になるためである。たとえば、実体集合「版画作品」と「所蔵場所」との関係である。

④ 実体の構成要素間関係（「実体」内部の表現、コンポジットオブジェクトに相当）

実体の構成要素間関係はis-part-of関係であり、全体情報と部分情報との間で、直接リンクする。たとえば、文章における章-節-項の関係である。

また、文章と文章中のキーワードとの関係も、実体の構成要素間関係として表現する。たとえば、

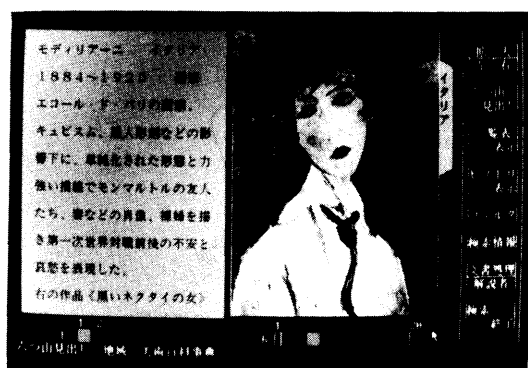


図4-2 メディアミックスブックの画面例
(右ページの右に見える見出しを用いてブラウジングを行う。)

「ゴッホ」の文章中に、「安藤広重」というキーワードがある場合である。「ゴッホ」の文書を見ていて、「安藤広重」の文書を見たいという要求には、④と①との関係の組合せにより対処される。

本システムでは、実体の構成要素間の関係は、陽には表示せず、実体の表示に対するウィンドウの包含関係で表している。

⑤実体と表現メディアとの関係（「実体」－「表現実体」による関係表現）

実体は、文章、写真、絵画、音、映像といった表現メディア、あるいはこれらの組合せにより表現される。実体と表現メディアとの関係は直接リンクを行う。メディアの提示や消去はこのリンク情報を用いて行う。ただし、メディアの組合せにより属性情報が異なる場合や、画家とその自画像の関係のように一部分の属性を継承する場合には、表現メディアを実体とみなして、上記①～③を適用させる。

⑥その他の関係づけ

上記以外の関係づけは、インスタンス情報間の関係づけで対処する。たとえば、利用者が個別につけた関係づけなどである。

本システムでは、関係づけパタンの整理を行った後、上記①、②に対応したスキーマ（多次元情報空間）上の関係づけにより、情報リンク数を減少させつつ、利用の多様性をはかることができる。

4. 3 情報属性空間軸の作成、更新、消滅

多次元情報属性空間の作成は、現在のところ、トップダウン型により、各軸単位に行っている。また、各軸は独立に定義できるようにしているので、利用者固有の軸の追加も可能である。

すでにインスタンス情報の存在する軸の更新については、項目の移動、併合のみ可能となっている。項目の分割、複数軸に関与する更新には、検索処理とインスタンス情報の再リンクを行う必要があり、操作インタフェース面を含めた対処法が課題である。

また、軸の消滅に関しては、この軸に関連するすべての関係情報を消滅させる場合（関係づけの消滅）のみ実現している。軸消滅によるインスタンス情報間のリンクへの転換は、リンク数の増加を防ぐため、強連結グラフ（すべてのインスタンス情報間にリンクがはられる）にならないような変換方を検討する必要がある、今後の課題である。

4. 4 トラバースによる動的な関係づけ

トラバースは、多次元情報属性空間中のインスタンス（または、インスタンス集合）間の遷移操作である。すなわち、多次元情報属性空間中の軸及び軸内の項目を指定することにより、該当する部分情報属性空間（フィルタ空間）を作成しつつ、関連情報を提示させる。メディアミックスブックでは、トラバースを用いることにより、関係演算を用いるという意味での動的な情報関係づけ機能を提供している。ただし、静的な関係づけの遷移と同様、操作インタフェースを簡便なものとするために、機能は下記のものに限定し、アイコン的な操作（「六つ山見出し」操作）で実現している。

①軸の選択／変更（フィルタ空間不変）

トラバースする軸を多次元情報属性空間中から選択または、変更する。この時、軸内の見出し項目が表示されると共に、該当インスタンス情報がソートされる。現在は、インタフェース上の制約から1軸しか選択できないが、多軸選択の拡張も可能である。

②軸内の項目の移動（フィルタ空間不変）

トラバース軸内の見出し項目を移動させることにより該当インスタンス情報を表示させる。この場合、同一フィルタ空間の別のインスタンス情報が表示されるだけで、フィルタ空間は不変である。たとえば、「イクリア」の画家（フィルタ空間）をトラバース軸「世紀」で見ると、項目を「15世紀」から「19世紀」に移動し、該当画家情報を表示させる場合で

ある。

③ 軸内の項目の選択（フィルタ空間変化）

トラバース軸内の見出し項目を選択し、フィルタ空間を変化させながら、該当インスタンス情報を表示させる。見出し項目選択による、フィルタ空間の変化のボタンには、フィルタ空間を規定する条件へ積型の追加、和型の追加、条件クリア後の追加の3種類を提供している。

④ 制約をつけた軸の変更（フィルタ空間変化）

トラバース軸の変更の際に、フィルタ空間を規定する条件も適切に変化させる場合である。上記①、③の組合せにより実現可能であるが、簡単な操作で実行できるようにするため、この操作を設けている。たとえば、「フランスの画家集」を見ている場合に、「同時代の他地域の画家」、「同流派の他年代の画家」等へ遷移、表示したい場合である。

メディアミックスブックでは、このようなトラバースを用いることにより、検索、ソート処理を実行しながら、関連情報を動的に生成し、提示を行っている。

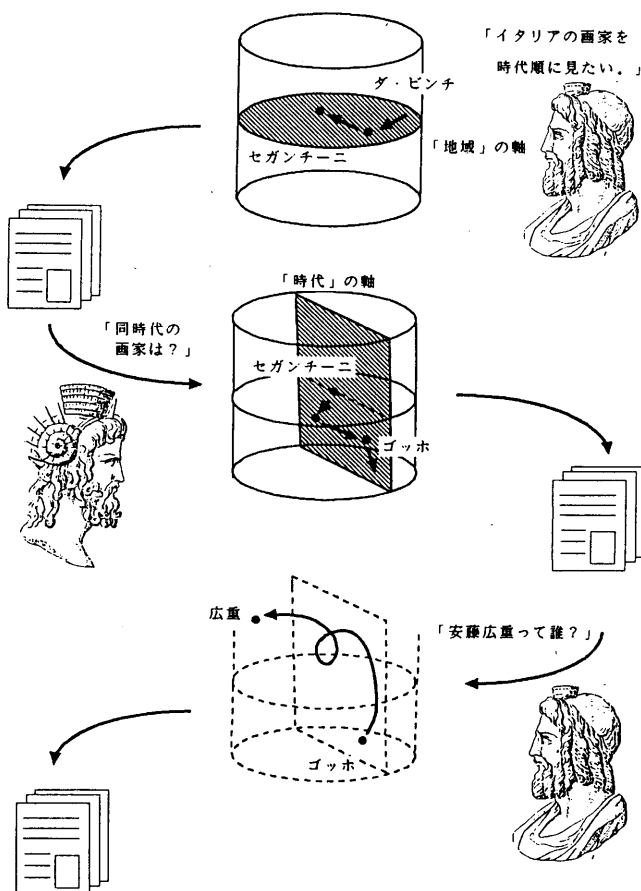


図4-3 トラバース

4.5 オブジェクト指向モデルによるレイヤ管理

ハイパーメディア上の情報リンクの種別を明確化し、情報間の関係づけを容易にするために、図4-4のようなオブジェクト指向モデルによるレイヤ管理（層別のグループ管理）を行っている。すなわち、多次元情報属性空間における実体（インスタンス情報）間の関係、実体の構成要素の関係、実体と表現メディアとの関係を整理して、再利用、ユーザカスタマイズが行いやすいようにしている。

また、多次元情報属性空間を用いたハイパーメディア構造の評価指針としては、軸内の均等性、軸間の独立性[HAR86-1]をもとに適用検討を行っている。この場合、均等かつ独立である程、属性空間のバランスがとれている。

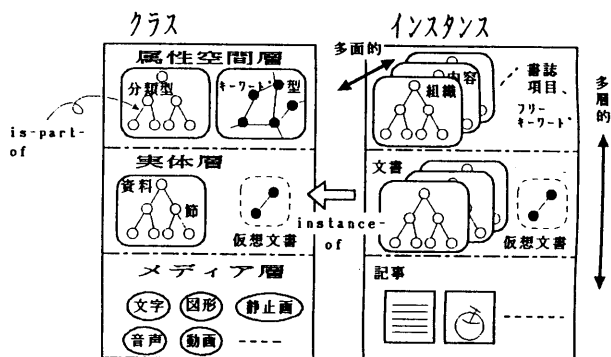


図4-4 オブジェクト指向モデルによるレイヤ管理

5. 考察・課題

上記で述べたハイパーメディアにおける関係づけ方は、実体（インスタンス情報）の一部分の性質が共通であるという意味での関連を抽出して、実現をはかったものである。すなわち、関係のうち集約化できるものは、集約化による情報リンク数減少をはかり、かつ集合操作による利用、提示の多様性を実現させたものである。

しかしながら、実体間の多対多関係や、シーケンスに意味のある情報リンクに対しては、本質的にインスタンス情報間のリンクが必要である。したがって、このような種々の関係づけパターンを統一的に扱える枠組みの規定が今後の課題である。

また、一般的な関係スキーマの作成、更新、消滅方法も今後の課題である。このような関係スキーマとインスタンス情報間のリンクが柔軟に行えることにより、情報リンクの再整理が容易になり、中長期にわたって活性的なハイパーメディアが構築できるものと期待される。

6. おわりに

本論文では、大量情報をハイパーメディア上で扱う際の情報間の関係づけについて、問題点の抽出を行い、スキーマの導入、動的な関係づけ、関係種別の整理という面での解決策について議論を行った。また、メディアミックスブックで対処しているこれらの実現方法として、多次元情報属性空間中の関係表現、トラバース関係演算、オブジェクト指向に基づく関係づけの整理につき説明を行った。このような関係づけ方法を取り込むことにより、ハイパーメディアの適用、利用範囲が広がるものと期待される。今後は、マルチメディアデータベースインタフェースとして、ハイパーメディアの位置づけが重要になると考える。

参考文献

- [BUS45] Bush, V. "As we may think," Atlantic Monthly, 1945. (邦訳: 上田他「情報学基本論文集 I」に収録, 勁草書房, 1989.)
- [BAN87] Banerjee, J., et al. "Data Model Issues for Object-Oriented Applications," ACM SIGOIS, Vol. 5, No. 1, 1987, pp. 3-26.
- [CAP86] Caplinger, M. "Graphical Database Browsing," ACM-SIGOIS Conf. on OIS, 1986, pp. 113-119.
- [CHR88] Christodoulakis, S., et al. "Browsing Within Time-Driven Multimedia Documents," Conf. on OIS, 1988, pp. 219-227.
- [CON87] Conklin, J. "Hypertext: An Introduction and Survey," COMPUTER, Vol. 20, No. 9, 1987, pp. 17-41.
- [GOO88] Goodman, G. "The Complete HYPERCARD HAND BOOK," BNN, 1988.
- [HAR86-1] 原, 金子 「多次元多階層分類の最適化方策とファイリングシステムへの応用」, 第3回分類の理論と応用に関する研究会, 1986, pp. 70-75.
- [HAR86-2] 原, 金子 「マルチメディア情報検索システム」, 信学会データ工学研究会, DE86-2, 1986, pp. 9-16.
- [HAR87] 原, 金子, 田村, 田中 「メディアミックスブックの概要」, 情処学会第34回全国大会, 1987, pp. 2177-2178.
- [HAR88-1] Hara, Y., and Kaneko, A. "A New Multimedia Electronic Book and Its Functional Capabilities," User-oriented, Content-based, Text and Image Handling (RIA0), 1988, pp. 114-123.
- [HAR88-2] 原, 田村, 笠原 「ハイパーメディア電子ブックにおけるトラバース主導型情報検索方式」, 信学会データ工学研究会, DE88-17, 1988, pp. 41-48.
- [HIR88] Hirano, F. "Hypermedia-based Documentation System for the Office Environment," User-oriented, Content-based, Text and Image Handling (RIA0), 1988, pp. 535-546.
- [HIR89] 平野 「マルチメディア文書DBの利用者インタフェース」, 情処学会データベースシステム研究会, 70-5, 1989.
- [KAT89] 加藤, 他 「マルチメディア画像対話型データベース」, 情処学会データベースシステム研究会, 70-3, 1989.
- [NIW88] 丹羽, 小川 「新しいメディア技術 - パッケージメディアと電子出版 -」, 情報処理, Vol. 29, No. 2, 1988, pp. 136-145.
- [OGA88] 小川, 佐原 「理解のしやすさを重視したマルチメディア情報提示システム」, 信学会教育工学研究会, ET88-6, 1988, pp. 27-32.
- [OGA89] 小川, 佐原, 金子 「音声・動画を含むハイパーメディア作成支援システム」, 情報学シンポジウム, 1989, pp. 43-52.
- [TAM88] 田村, 原, 笠原 「『電紙メディア』の情報特性」, 情処学会第37回全国大会, 1988, pp. 1975-1976.
- [TON88] 外村 「ハイパーメディアシステム構成のためのデータ構造とその応用に関する一考察」, IE88-3, 1988, pp. 17-24.
- [WOE87] Woelk, D., et al. "Multimedia Information Management in an Object-Oriented Database System," VLDB, 1987, pp. 319-329.
- [WEY85] Weyer, S. A., et al. "A prototype electronic encyclopedia," ACM Trans. on OIS, Vol. 3, No. 1, 1985, pp. 63-68.
- [YAN85] Yankelovich, N., et al. "Reading and writing the electronic book," COMPUTER, Vol. 18, No. 10, 1985, pp. 15-30.
- [YAN88] Yankelovich, N., et al. "Intermedia: The Concept and the Construction of a Seamless Information Environment," COMPUTER, Vol. 21, No. 1, 1988, pp. 81-96.