

## ダイナミック・ハイパーメディアシステム

小野眞

日本アイ・ビー・エム株式会社  
東京基礎研究所

現在ハイパーメディアシステムの多くはテキスト・図形・画像のみならずVTR・アニメーションなど動的データも取り扱えるようになってきた。しかしながら今までのシステムでは、各種情報に対し静的にリンクを結んだものがほとんどである。私達はネットワーク状のハイパーメディア情報に対しリンクを含めた動的管理を行なう方法を提案する。その結果ハイパーメディアの著者は、読者の興味や理解等に合わせた幅広い記述が可能になる。またそこで用いられるネットワーク管理の詳細を述べた後に、それがハイパーメディア管理だけでなくアニメーションにも使用できることを述べる。最後にこのシステムの応用として大学教養課程を対象としたテキストブックを紹介する。

## Dynamic hypermedia system

Makoto Ono

Tokyo Research Laboratory, IBM Japan, Ltd.  
5-19, Sanbancho, Chiyoda-ku, Tokyo 102

Current hypermedia systems are able to treat multi media information, such as text, graphics and image. Furthermore, they are also able to treat dynamic information media, such as video or animation. But most of these systems can only manipulate the static links between information. In this paper, I describe a dynamic management method for hypermedia data structure, including the dynamics in the link manipulation. The dynamic management method uses a network manager, which can also be used for animation control. After the method is described, I present an example application for a college textbook.

## はじめに

最近“ハイパーメディア”・“ハイパーテキスト”という言葉をよく耳にするようになった。パーソナル・コンピュータにも大容量の記憶媒体、たとえばCD-ROMなどが手軽に利用できはじめ、取り扱うデータがテキスト・プログラム・音声・図形・画像さらには動画・CADなどの幾何データまで広範囲に広がった。このためパーソナル・コンピュータで各種情報を統一的に取り扱える可能性がでてきた。これら多種の情報すべてにいかにかアクセスするかという課題に対する答えのひとつが、先にあげた“ハイパーメディア”であろう[黒川1988]。

ハイパーメディアの大きな特徴は各種情報がリンクされていることで、ユーザは関連する情報を見つめながらシステム内を検索する。この行動はナビゲーションと呼ばれている。ユーザはさらに新しい情報を付け加えたり、内容を編集することもできる。

しかしながら既存のハイパーメディアシステムではVTR・アニメーションをリンクの先に取り込むことはできるものの、リンク自身をはじめとするハイパーメディアシステムの多くの部分は静的なものが多い。

本稿では、リンク管理まで含めて動的管理を行なうハイパーメディアシステムについて提案し、その応用として大学教養課程における電子テキストを紹介する。

## ダイナミック・リンク

ハイパーメディアというのは、各種情報のリンク(連結)と考えられる。いまリンクできる情報のかたまりをノードとよぶことにする。多種多様な情報をこのノードに格納するため、ノードに対して統一的な操作概念を適用することは難しい。

たとえば通常のデータベースにおけるキーの概念は、音やビデオを対象とした場合適当な

ものを定義することは難しい。また図形や画像を対象とした場合も実用的なものを作成するためには多くの課題が残っている。

ハイパーメディアシステムの場合、リンクを順に追って情報を検索する(および今までのアクセスのログを用いる)以外はブラウザを用いてネットワーク(ノードとリンク)の状態を視覚化しこのマップを用いてアクセスする方法、またはデータの属性等のタグを用いて検索する方法などがある。

テキストデータに限定した文字列操作等を除くと、属性のタグはリンクに設けられる場合が多い。たとえば図1に示すように、ノードBの内容はノードAの例であるケースの場合ノードAからノードBを指すリンクに“例”であるとことを示すタグを挿入する。

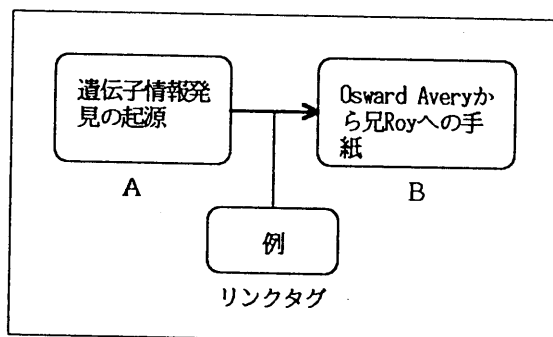


図1: リンクの属性

リンク属性値について一般的なものを作ることは困難かもしれないが、アプリケーションごとに定めることは可能である。リンクタイプについてはある程度一般化できる可能性もある。たとえばJanet H. Walkerはつぎの四つをあげている[Walker1987]。

1. inclusion
2. precis
3. crossref
4. implicit

この属性値を用いて、通常のデータベースの手法も使用可能になる。たとえばコースウェア上である単元のあとに興味の度合や理解の深さに応じて異なるつぎの単元を複数用意し、異なるタグをもつリンクで結ぶ。読者が自分の興味に応じてネットワークをカスタマイズする操作は、リレーショナルデータベースと言うビューの定義に相当する。

私達はリンクの状態を動的に変化させることのできる仕組みをハイパーメディアシステムに組みこむことにより、ダイナミックリンクを可能とした。先の例で言えば、読者が自分の興味を何らかの方法でシステムに知らせた後それに基づいてリンクを制御できる仕組みを、著者が記述できるようにしたものである。

リンクの状態が一定でないことは、ユーザ・インタフェース上の新たな課題を生みだすかもしれないが、オーサリングシステム、電子小説、または電子黒板システム[Stefik,etal 1987]等で有効であると考えられる。

本稿では、このダイナミックリンクの機能をもつハイパーメディアシステムを試作したので、その基本的な設計およびアプリケーションについて報告する。また同じ機能を用いて、アニメーションを効率よく行なえる機能も開発したので、あわせて報告する。

## ダイナミック・ハイパーメディアシステムの基本設計

上記のダイナミックリンクを実現する方法は各種考えられるが、その代表的なものを紹介する。

### スクリプト

情報を制御するプログラム(スクリプト)をノードの中に埋めこむ方法で、アップル社の

ハイパーカード等のシステムで用いられている。リンクの制御もまたこのスクリプトを用いて記述される。したがってインタラクティブなリンク作成等是一種のビジュアルプログラミングに相当する。最もフレキシブルであることは言うまでもなく、実行時にしか定まらないノード、たとえば“今日のスケジュール表”などにリンクを結ぶことも可能である。その一方リンクの全体像(ネットワークの全体像)がつかみにくいという欠点がある。

### フレーム

ノードをリンク用のスロットをもつフレームとして定義する方法で、実行時にスロットの割り当て(assignment)を行なう。ノードの中に直接プログラムを記述するかわりに、スロットの割り当て条件(assignment condition)を記述する。たとえば先のコースウェアの例では、“つぎのコース”というスロットを設け、そこへの割り当て条件として、

```
if intrested in A then X
if intrested in B then Y
otherwise Z
```

のようなものを記述する。

システムの基本部は、この条件を満たしたものを自動的にスロットに割り当てるデーモンとなる。

欠点としてはシステムが複雑になり、処理に時間がかかることである。

### 隣接表をもつフレーム

前記のフレームではあまりにも一般的過ぎるため必要な処理の負担が重く、インタラクティブシステムには不都合が多い。そこで各ノードにそこからリンクされている

ノードの集合(隣接表: neighborhood list)をもち、スロット割り当てはそこからの選択に限定する方法を提案する。この方法では、先程のように実行時にしか生成されないノードへのリンクは記述できないものの、実行前にネットワークのプリプロセスが可能であり(たとえば [小野1987]), ナビゲーション時の実行効率を上げることができる。これは(編集時には少し時間がかかってもよいが)読み歩いているときのパフォーマンスはよくあってほしいという、ハイパーメディアシステムに必須の要求に合致している。またハイパーメディアシステムで頻繁に使用される、

- このノードからどのノードへ到達できるか
- このノードへどのノードから到達できるか

などにも、比較的容易に答えることができる。オーサリングシステムの例を実際に記述したものが図2である。

この方法ではスクリプトや普通のフレームでは難しかったネットワークの全体像をとらえると同時に動的にリンクを割りあてることが可能となる。

具体的に効率よく実行するには、スロットの割り当てプロセス以外に、グローバルにネッ

トワークを管理する層が必要となる。そこで本システムではネットワーク管理層をもうけ一般化をはかったので、つぎに述べる。

## ネットワーク管理

ネットワーク管理は基本的には単純なグラフ理論の応用である。ここで提供される主な操作は以下の通りである。

1. ノードの生成/削除/コピー
2. リンクの追加/削除/コピー/空白化
3. ノード名の変更
4. 参照リンクの変更  
ノードAへのリンクをすべてノードBへ付け替える
5. ノード名とリンクの変更  
ノードAをBに名前をかえ、Aを指すリンクをBにかきかえる
6. あるノードの隣接ノードの問い合わせ  
ノードAからリンクされているノードを問い合わせる
7. あるノードへの隣接ノードの問い合わせ  
ノードAへリンクされているノードを問い合わせる
8. あるノードから到達可能なノード(reachable set)の問い合わせ

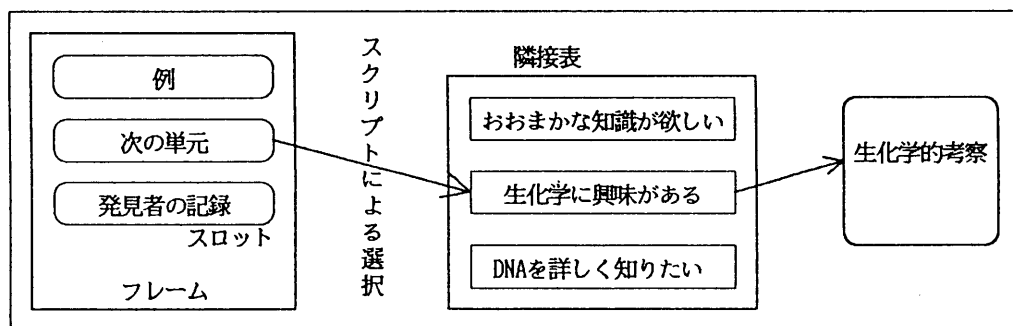


図2: オーサリングシステムの例

### 9. あるノードへ到達可能なノード(antecedent set)の問い合わせ

各ノードに対する操作,たとえばあるテキストのノードにリンクを付けた場合,システムはノード内のフレームに新たなスロットを設けスクリプトを埋めこむとともにこのネットワーク管理も同時に行なう.ただしスロット割り当て条件やリンクタイプ・属性等は各ノードで管理される一方,ネットワーク管理は(データの整合性を保ちながら)各ノードと独立に行なわれる.

ネットワーク操作の1~7は,ノードとリンクのデータを維持することのみで実現できる.一方8,9は逐次調べていくと問い合わせのたびに多くの処理をすることとなる.本システムにおいては,ネットワーク更新(1-5の操作)後の最初の問い合わせ時にネットワークの推移閉包(transitive closure)を求め,繰り返し検索することなしに求めるようにした.

一般にネットワークの維持にはノードの数(の2乗)に比例した記憶領域と計算量が必要となる.したがってサブネットワーク化し,ひとつのネットワーク上のノードの数を減らすことが大切である.

本システムでは図3に示すような一入力一出力のノード群を一つの仮想ノードとしサブネットワーク化することにより,見かけ上のノードの数を減らすようにした.ネットワーク操作のなかにはノードの数の2乗,3乗に比例する手間のかかるものも多いため,このような単純なサブネットワーク化でもかなりの効果が期待できる.ただしこのサブネットワーク化自身が元のノードの数の2乗のオーダーの計算量を必要とするため,試作システムにおいてはノードの数が一定個数を越えたときのみに行なうようにした.

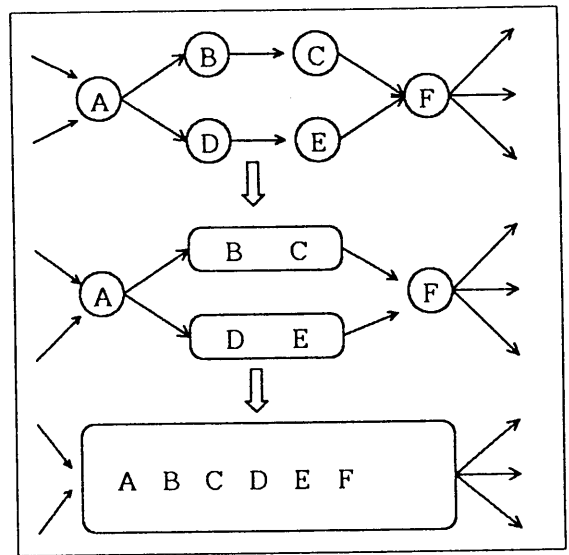


図3: ノードの削減

### システム概要とその応用

試作システムでは現在,文字・画像および後に紹介するアニメーションを使用することができ,システムの全体像は図4に示すとうりである.

先に述べたとうり動的データ管理を隣接表を持ったフレームで表現し,スロットへの割り当ては内蔵されたインタプリタがノードのオープンするときに行なう.

### 電子テキストブックへの応用

このハイパーメディアシステムを用いて,大学教養課程程度のテキストブックを試作した(図5参照).

なおテキストの内容は,別に用意されたタグ言語を用いて記述した.

## ネットワーク管理層を利用したアニメーション

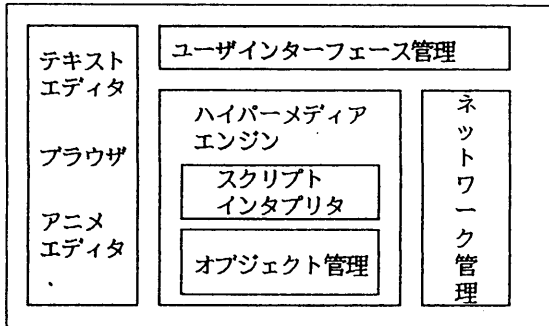


図 4: システム構成

前記ネットワーク管理層は、ハイパーメディア管理のみならず、一般的に利用可能である。そのひとつの例としてアニメーションを効率的に行なった。詳しくは[小野1988]で報告したが、以下に簡単に述べる。

ここで使用できるアニメーションとは、簡単な陽関数を用いて動きを定義するものである。たとえばボールを動かす場合、そのボールの位置(x, y)に対し、

- $a = 2t$
- $y = gt^2 + 2a + y_0$
- $x = a + x_0$

と定義する。

この与えられた式を、各変数をノードにみたネットワークで表現する(図6)。

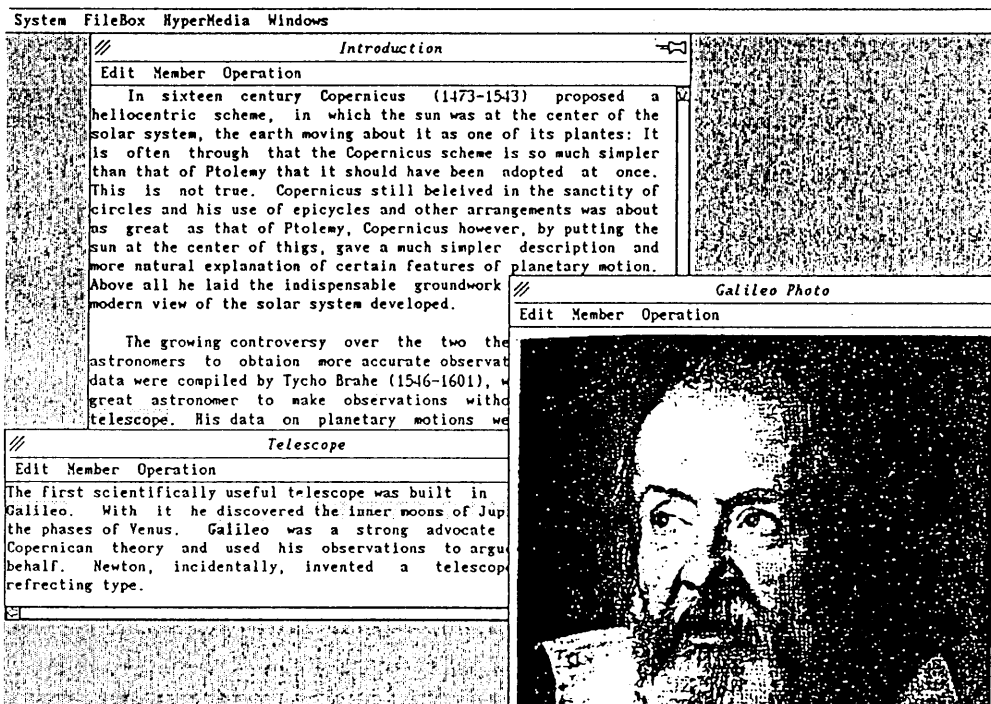


図 5: 物理のコース

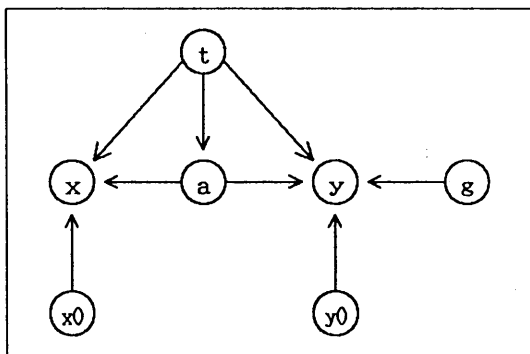


図 6: 変数間のネットワーク

さらに各ノードにその変数を求めるために必要な式および現在の値をいれる。初期値としての値は、すべて未決定とする。

さて実際に描画するときには、描画に必要な変数(x, y)から後ろ向きに求める。必要な変数の値が未決定の場合、そこに記述されている式を評価する。評価の途中で再び未決定の

変数に当たった場合にはこれを繰り返す。つぎに何かの変数に変更された場合、(アニメーションでは通常タイマに相当するものが常に更新されている) その変数から到達可能な変数の値を全て未決定に書き直す。描画変数を書き直された場合自動的に再描画の処理が行なわれ、上記の処理を繰り返す。

このようにネットワーク管理層を用いるとアニメーションにおける、式の評価を最適化することができる。

## おわりに

本稿では、リンクを含む動的管理を行なうことのできるハイパーメディアシステムを試作したのでその報告を行なった。リンクを隣接表を用いたフレームで表現することにより、少ない処理である程度の動的構造を作ること

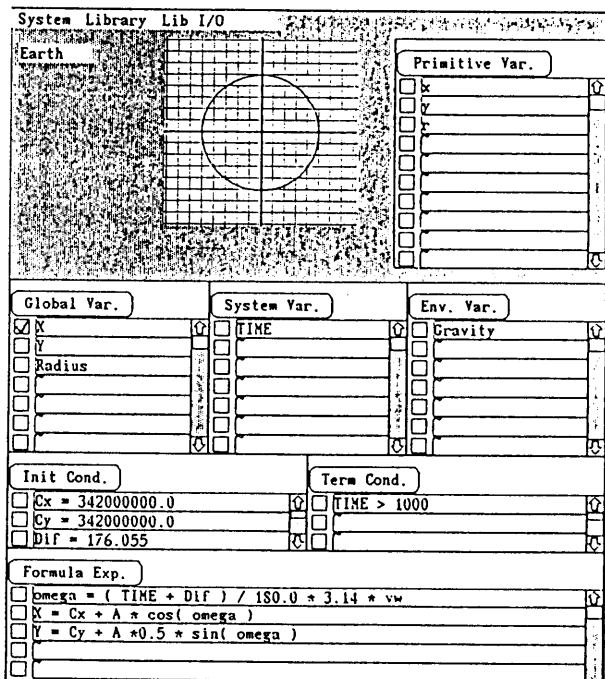
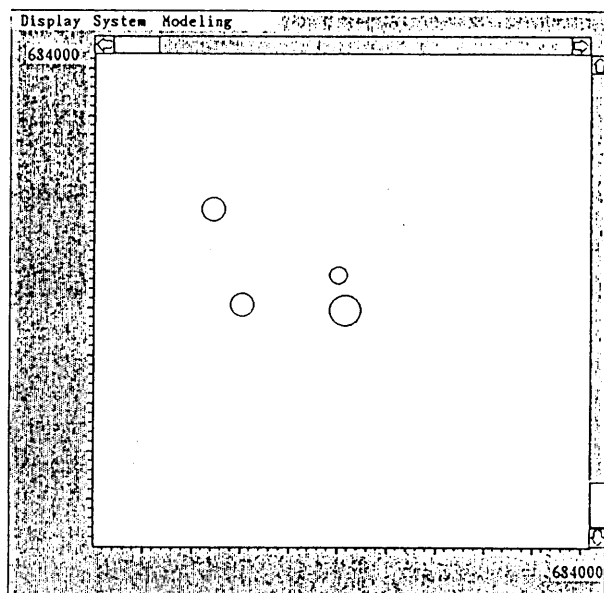


図 7: アニメーションの例

ができた。またリンクの全体を管理するネットワーク管理層を設け、そのインターフェースおよびアニメーションへの応用を述べた。

現在試作システムは、全てのデータを自分で管理しているが（たとえばテキストエディタも内蔵されたかたち）今後ますます多くなるアプリケーションを考えた場合、アプリケーションとのインターフェースを定義し、独立して動かすことのできる方向へ発展させていきたい。また具体的に教育の場で使用しフィードバックを得られるようにしていきたい。

ハイパーメディアシステムは、多くのアプリケーションを包括した概念となっており、そのデータモデル・ユーザインタフェース等解決すべき課題は多い。

また通常の文章の書き方・構成ではハイパーテキストの読みやすさを指示できない。今後はシステムのみならず、どうすれば読みやすい・わかりやすいハイパーメディアを作れるかといった、ハイパーメディアの著者のためのガイドライン（教育）が必要になると考えられる。

## 文献

- [小野 1987] 小野眞, 宮田一乗, 杉本和敏:  
*Hypermedia*システムにおける表示管理. 情報処理学会第35回全国大会 4Ff-4 (1987) pp. 2769-2770.
- [小野 1988] 小野眞, 宮田一乗: 式を用いたアニメーションシステム. 情報処理学会第38回全国大会 3V-1 (1988) pp. 1835-1836.
- [黒川 1988] 黒川隆夫: 情報空間の巡航—ハイパーメディア. *Human interface news and report* 3 (1988) pp. 242-254.
- [西尾 1987] 西尾信彦: 発想の計算機支援. 情報処理学会文書処理とヒューマンインタフェース研究会報告 DPHI-15 (1987).
- [Stefik, et al 1987] Mark Stefik, Gregg Foster, Daniel G. Bobrow, Kenneth Kahn, Stan Lanning, and Lucy Suchman: *Beyond the chalkboard: Computer support for collaboration and problem solving in meetings.* CACM (1987) pp. 32-47.
- [高田 1989] 高田広章: ハイパーテキストとそのプログラミング環境への応用. 情報処理 Vol. 30, No. 4 (1989) pp. 406-413.
- [Walker 1987] Janet H. Walker: *Document Examiner: Delivery Interface for Hypertext Documents.* HYPERTEXT '87 Proceedings (1987) pp. 307-323.