情報の関連性と多人数アクセスに着目したWWW空間の視覚化

塩澤 秀和，西山晴彦，相馬隆宏，松下温
慶應義塾大学理工学部
E-mail: shiozawa@myo.inst.keio.ac.jp

本論文では，WWW 空間の 3 次元視覚化手法である納豆ビューについて述べる．納豆ビューでは，情報ノードはまず 3 次元空間内の初期平面に配置され，ユーザは任意のノードを直接操作によって選択し動かすことができる．ユーザがあるノードを持ち上げるとそこからリンクされているノードがそれについていくように持ち上がり，複雑な情報ネットワークを動的に解きほぐして眺めることができる．これに加えて，拡大，回転などの 3 次元操作によって情報空間を多面的に見ることができる．納豆ビューは，単なる視覚化を越え，ユーザの興味に応じた対話的な操作が可能であり，レイアウト非依存の方法なので巨大な分散情報空間への多人数アクセスにも適すると考えられる．

Visualization of WWW Space from the Viewpoint of Information Connection and Multiuser Access

Hidekazu Shiozawa, Haruhiko Nishiyama, Takahiro Soma, Yutaka Matsushita
Faculty of Science and Technology, Keio University
E-mail: shiozawa@myo.inst.keio.ac.jp

This paper describes the Natto View, which is a set of 3D interactive visualizing techniques for WWW space. In this way, information nodes are placed on the initial plane in 3D space, and users can select and move arbitrary node with direct manipulation. As the user lifts a focused node up, the nodes to which it links follow together, and thus complicated networks are disentangled dynamically. The Natto View supports not only visualization but also interactive and dynamic manipulation on users' demand. Furthermore it is a layout-independent method and thus suitable for multiuser access to huge distributed information networks.

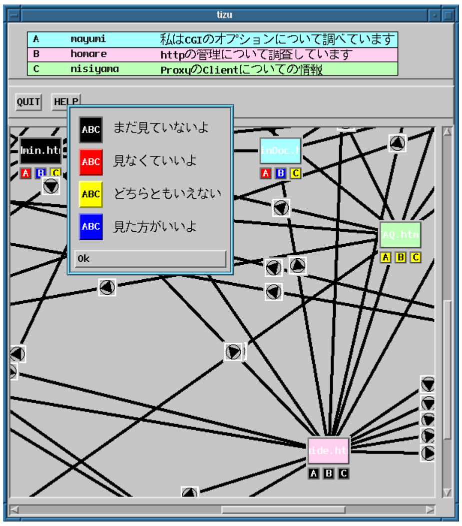
1 はじめに – WWW の問題点

WWW は，世界規模のハイパーメディアネットワークである．ハイパーメディア (ハイパーテキスト) においては，関連する情報同士がハイパーリンクによって結合され，巨大な情報空間を形づくる．ユーザは情報の記述されたページからページへとそこに埋め込まれたリンクをたどっていくことによって，情報をブラウズ (閲覧) し，有用な情報を検索することができる．

しかし，WWW を通してインターネット情報にアクセスする人々が共通して悩まされる問題がある．それは，あまりにも広大な情報の海の中でその情報同士の関連性がつかめなくなり，欲しい情報がどこにあるのか，自分がどこにいるのか，どこからきたのか，新しい情報をどこにしまえばいいのか，見当がつかなくなってしまうということである．これは，単純に「ハイパースペースで迷子になる」と表現されることが多い．

このハイパーメディアにおける方向感覚の喪失という問題を解決する有効な手段として古くから研究されているのが，情報空間を分かりやすく図示するというものである．ナビゲーションマップ，グラフィックブラウザ，オーバービューダイアグラムなどと呼ばれる図をユーザに提示することによって，情報の関連性の視覚的な理解を促す．しかし，ハイパーメディアの

リンク構造はあまりにも複雑であるため，既存のグラフィックブラウザは実用に耐え得るものではなかった (図 1[15])．



A	mayumi	私はCGIのオプションについて調べています
B	homare	httpの管理について調査しています
C	nisiyama	ProxyのClientについての情報

図 1: 図示の悪い例: 昨年の我々の協調検索システム

2 情報視覚化

ハイパーメディア構造を視覚化 (あるいは可視化) するということは，大規模なグラフ構造をいかに表示するかという問題の 1 つの応用である．そして，その最も一般的な解法は，数値計算によって 2 次元平面上にノードを最適配置するというものである (各手法の比較が [9, 10] にある)．また階層化やクラスタリングも多く用いられている．しかしながら，グラフのレイアウトは極めて難しい問題として知られており，階層化にしても従来の方法では注目しているノードのごく近隣しか表示することができない．

そこで，近年，情報視覚化と呼ばれる分野の研究が盛んになり [6, 11]，大規模な情報空間を限られた広さのスクリーン上に表示するための方法が数多く提案されている．そのなかでも魚眼レンズモデル [4, 13] と 3 次元コンピュータグラフィックスは典型的な手法といえるだろう．グラフィカル魚眼レンズビューは，ユーザの注目している画面領域の周辺は非常に詳細に，その周囲は遠くなるにつれてだんだんと大まかに表示するというものである (類例 [7, 14])．これに対して 3 次元 CG は，遠近法や透視画法によって同じような効果を 3 次元的に実現する [1, 8]．

当然，このような手法を用いて WWW 空間を視覚化しようとする試みも盛んになってきた [3, 5, 7, 12]．

3 従来の視覚化の問題点

しかし，これら 2 つの方法にも限界がある．

多人数アクセスという点からの問題点： グラフィカル魚眼レンズビューやその他の空間的視覚化手法では，表示領域の範囲と表示の一貫性に関する問題を避けることができない．なぜなら，その表示と操作がレイアウトに依存しているからである．グラフのレイアウトはすべてのノードとリンクの情報が取得できないと計算できないが，これは WWW のような巨大な分散ハイパーメディアでは不可能なことである．そのため，情報空間の表現は時間やユーザによって異なったものとなり，一貫性が確保できない．

対話性という点からの問題点： また，従来の多くの 3 次元ビューでは，ユーザは表示された情報空間の中で移動したり拡大表示させるだけで，データそのものを動かしたり変化させて，その関連性を解析するといった，十分に対話的な操作ができなかった (この点に言及した研究に [2] がある)．そのため，ユーザは 3 次元空間のなかで，不用意に動きまわり，文字通り方向感覚を失って，本当にどちらを向いているのかが分からなくなってしまうことが多い．

4 WWW の視覚化に必要な機能

まず，WWW 空間の視覚化にはどんな要件があるか述べる．なお，協調検索の要件に関しては [15, 16] を参照していただきたい．

対話性に優れかつ適切な制限のある操作体系： 従来の視覚化では不十分であった対話的で試行錯誤的な操作によるデータの分析を支援する．また，それはグラフィカル魚眼レンズビューのように空間に対するものではなく，データそのものに対する操作であることが重要である．ただ，あまりにもユーザに自由な操作を許してしまうと返って混乱をきたすので，それぞれの操作にはなんらかの統一的な「意味付け」を与えて，自然で適切な制限を加えるのがよい．

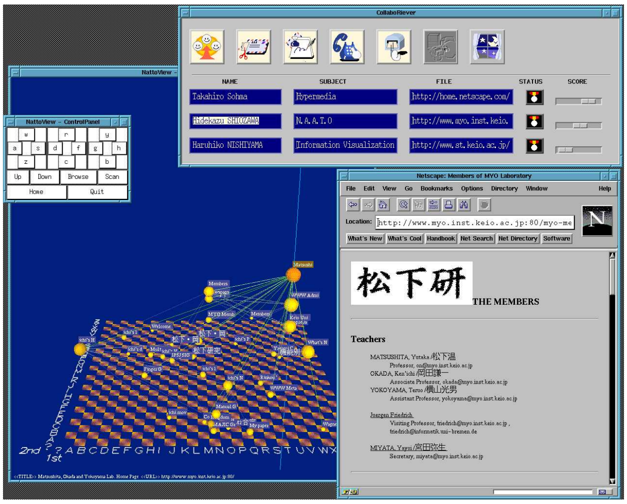
- ハイパーメディアの非線形性を尊重したグラフ指向の表示アルゴリズム： ハイパーメディアの最大の利点は普通の文章にない非線形性，非階層性にある．コンピュータによって自動的に計算された階層は，時に不自然であり，様々なユーザに適したものであるとも言えない．視覚化はこの点を考慮して，グラフ構造に基づいたものとし，ユーザが必要に応じて自分の好みの階層ビューを構築できるようにするのがよい．
- インクリメンタルなマップの構築のためのレイアウト非依存性： レイアウト最適化に依存した表示方法の場合，配置に関わるすべてのノードのリンク情報が必要であるが，WWW のような世界的に分散されたハイパーメディアの場合，全てのノードの情報を得ることは現実的でない．よって，ユーザはいくつか新しいノードにアクセスするたびに配置の最適化計算の結果を待たなければならないことになる．このような不都合を回避し，インクリメンタルなマップの構築を可能にするためには，レイアウト最適化以外の方法が望ましい．
- ユーザ間または時間に関しての情報位置の一貫性と連続性： レイアウトによる従来の方法では，配置計算のたびにノード位置が大きく移動する可能性がある．そのため，異なるユーザや同じユーザであっても異なる時間ではデータ位置の一貫性と連続性が保てない．さらに，通常そのような手法では計算過程で乱数を用いるので，配置結果はほとんどまちまちであるといってよい．これでは，ユーザの間でアクセス情報を交換し，協調検索を行なう際の支障となる．一貫性と連続性を確保するためには，ユーザのアクセス順や乱数に依存しない方法を用いる必要性がある．

5　「納豆ビュー」

以上のような要件を満たす新たな視覚化の手法として我々が提案するのが「納豆ビュー」である．図 2 は，システムのユーザインタフェースの全景である．

5.1　3 次元情報視覚化

納豆ビューでは，個々の HTML ページであるノードとそれを結ぶリンクが，それぞれ球と線分で表示される．ノードの表示には，黄色，薄茶色，オレンジ色の 3 色が用いられ，それぞれ「まだ訪問していない」，「訪問 (注目) したことがある」，「現在注目している」という意味で用いられる．球の半径は，そのノードに出入りするノードの総数の対数によって定義される．よって，多くのノードとつながっているノードほど目立つように大きく表示される．



NAME	SUBJECT	FILE	STATUS	SCORE
Takahiro Sohma	Hypermedia	http://home.netscape.com/		
Hidekazu SHIOZAWA	N.A.A.T.O	http://www.myo.inst.keio.		
Haruhiko NISHIYAMA	Information Visualization	http://www.st.keio.ac.jp/		

Location: http://www.myo.inst.keio.ac.jp:80/myo-me

松下研 THE MEMBERS

Teachers

MATSUSHITA, Yutaka /松下温
Professor, on@myo.inst.keio.ac.jp
OKADA, Ken'ichi /岡田謙一
Associate Professor, okada@myo.inst.keio.ac.jp
YOKOYAMA, Teruo /横山光男
Assistant Professor, yokoyama@myo.inst.keio.ac.jp

Juergen Friedrich
Visiting Professor, friedrich@myo.inst.keio.ac.jp ,
friedrich@informatik.uni-bremen.de

MIYATA, Yayoi /宮田弥生
Secretary, miyata@myo.inst.keio.ac.jp

図 2: 納豆ビュー: ユーザインタフェースの全景

リンクの表示には半透明色を用いており，現在注目しているノードから出ているものは緑，それ以外のものは白である．半透明色を用いることによって，ユーザにとって重要でないリンクが画面上に錯綜し，肝心の情報が隠れてしまうような事態を防止することができる．また，半透明色は重なるとだんだんと濃くなるという特徴があるので，関連性が強く，結び付きが強いリンクほど濃く表示される．

5.2　関心という座標軸

3 次元情報視覚化においては，新しく加わった z 軸をいかにうまく利用するかによって，ユーザビリティに大きな違いが生まれる．z 軸によい意味付けを与えることができれば，モノクロ画像をカラー画像に変えるのと同じぐらいの認知的効果があると言っても大げさではない．しかし，それに失敗するとユーザの操作の意味があいまいになり，かえって混乱の原因となってしまう．

納豆ビューでは，z 座標をユーザの関心をあらわす

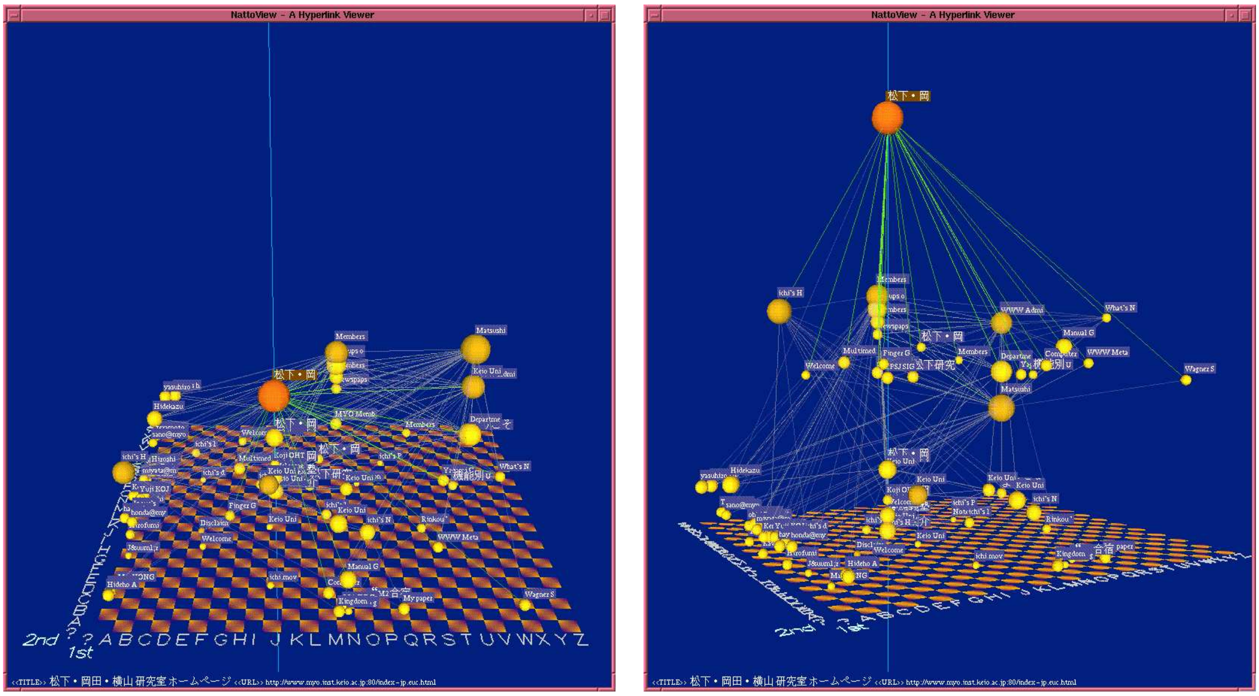


図 3: 「持ち上げ」操作: 複雑なネットワーク (左) を解きほぐす (右)

ために用いることにした．つまり，そのノードがユーザにとって興味深いものであればあるほど，それを高い位置に置くようにするわけである．プログラムを実行した時点での初期画面では，ノードの位置はそこから出るリンクの総数の対数をとったものである．これが「バイアス」の関心度である．多くのリンクを出しているノードは，目次やメニューといった WWW 空間をナビゲーションする上で重要なランドマークの役割を果たしていると考えられるので少し高めに表示するわけである．

5.3 「持ち上げ」操作によるユーザの関心に応じた動的な階層の構成

納豆ビューにおける最も重要な特徴は，この関心の座標軸に沿ってノードを持ち上げたり，下げたりできることである．ユーザは，自分の注目したい任意のノードをマウスで選択して，それを「持ち上げる (つまみ上げる)」ことができる．このとき，持ち上げたノードのリンク先ノードが，納豆が糸を引くように後につられて持ち上がる．自分の注目したいノードを上に上にと持ち上げれば，そこから出ているリンクと共にリンク先のノードが次から次へと何段階もにずるずると持ち上がっていくわけである．

具体的には，注目するノードがレベル x に引き上げられると，そのリンク先のノードをレベル $x-1$ に引き上げる．これをレベル 0 のノードまで繰り返し，最後にこのレベルに応じた高さにノードを表示するという方法を取っている．

この「持ち上げ」操作によって複雑に入り組んだ情報空間を解きほぐし，その周囲の関係を詳しく眺めることができる．図 3 は，この持ち上げ操作がいかに有効であるかを実際の例で示したものである．ユーザは大局的な情報構造を俯瞰しながら，自分の関心のある情報を中心とした，局所的な情報の関連性を動的に階層化して眺めることができる．

5.4 ブラウザとの連携など

納豆ビューでは，その他いろいろな操作が行なえるようになっている．ユーザはメニューを選択することによって，注目しているノードを Netscape で見ることができる．この機能は Netscape のリモートコントロール API を用いて実装した．また当然のことなが

ら，拡大，回転，平行移動といった 3 次元操作も可能である．さらに，特定のノードにマークを付けておき，マークされたノードをその説明とともに緑色で表示する機能がある．

5.5　マルチユーザアクセスと協調検索

現在我々は，協調検索環境を目指して納豆ビューを実装している途中である．納豆ビューでは，同じプロクシサーバを通してアクセスしたユーザ同士で，お互いが最後にどんな情報を参照したのかが，リアルタイムに把握できるようになっている．別の参加者の現在参照している情報の URL は，参加者一覧ウィンドウに表示され，納豆ビューにもユーザ名とともに緑色のノードが現れる (図 4)．なお，これはマーク機能によって実現されている．

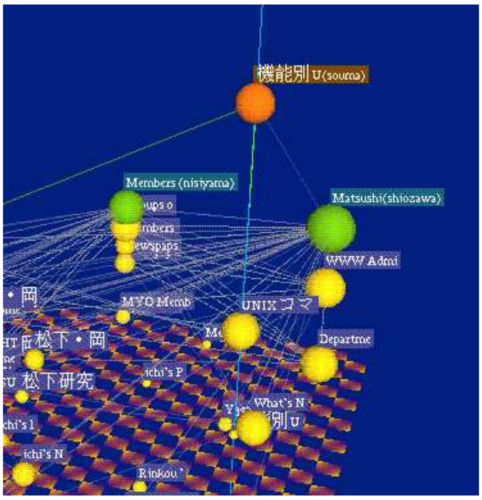


図 4: マルチユーザアクセス: ユーザ「shiozawa」と「nisiyama」が緑色のノードを見ている

さらに，ユーザは参加者一覧ウィンドウのアイコンを押すことによって，他の参加者に電子メールを送信したり，システム独自のツールを用いて簡単なセンテンスを送受信することができる．センテンスが送信された場合，その相手も同じプロクシサーバを通してアクセスしている最中であれば，直ちに報告される．

5.6　ノード位置の一貫性と連続性

最後に，それぞれのノードの xy 座標がどのように決められているのかを説明する．各ノードの xy 座標値は，その URL に基づいて計算されている．URL とは Uniform Resource Locator の略であり，情報の住所と言えるものである．これによって xy 座標を決定すれば，その位置はどんなユーザのブラウザでもでも一つに定まる．言い換えれば，それぞれのノードの xy 座標は URL のみに依存し，その内容や周辺ノードとの結合などの意味的構造的な要素とは関係がない．

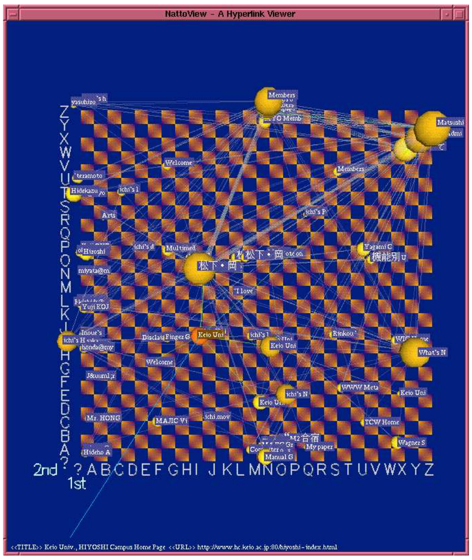


図 6: 上から見た図: ノード配置は URL から決定する

このおかげで，アクセス空間が広がってもノードの再配置のために計算をしなくてもよくなり，他人数アクセスのために重要な情報の位置の一貫性を確保することができるようになった．確かに，このような配置アルゴリズムはリンク表示を錯綜させてしまうことは事実であるが，我々は，一貫性と連続性はそれにもまして重要なことであると判断した．また，納豆ビューは持ち上げ操作に代表される対話性を実現しているので，この問題は軽減されている．

6　実装

図 5 に示したのが，システムのアーキテクチャである．納豆ビューは現在のところ，SUN ワークステーションと X-Window システムの上に実装されている．ユーザインタフェースは，C，Motif，Mesa(OpenGL ライクなライブラリ) で実装されており，サーバは perl スクリプトである．また，サーバにユーザの情報を知らせるために，プロクシサーバ delegated にパッチを

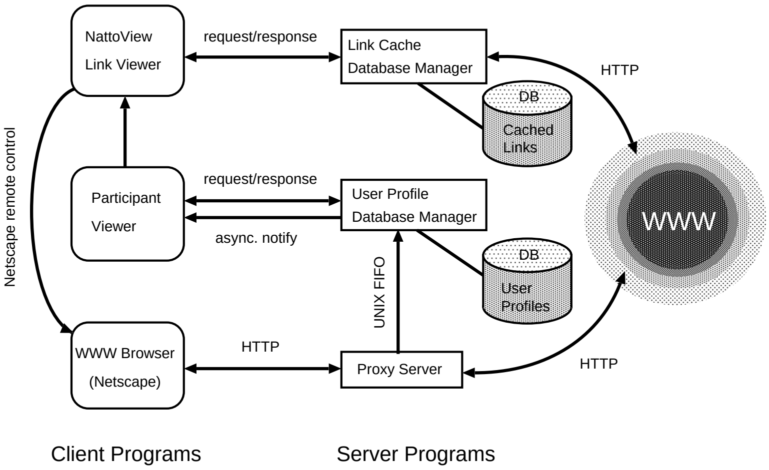


図 5: 納豆ビューのアーキテクチャ: クライアントとサーバの関係

当てたものを使用する必要がある．ユーザはこれらのプログラムと，Netscape，Mosaic などの WWW ブラウザを組み合わせることによって WWW 空間にアクセスすることになる．

7　おわりに

納豆ビューは WWW 構造への対話的な視覚的インタフェース実現した．ユーザは自分の関心に応じた階層化によって WWW 空間を多面的にみることができる．現在の納豆ビューはまだ協調検索システムとしては物足りない面もあるが，レイアウト非依存という性質は本質的に，マルチユーザシステム向いていると考えられるので，今後さらに研究を進めて行きたい．

参考文献

[1] S. K. Card. Visualizing retrieved information: A survey. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 63–67, Mar. 1996.

[2] M. C. Chuah, S. F. Roth, J. Mattis, and J. Kolojejchick. SDM: selective dynamic manipulation of visualizations. In *Proc. of ACM UIST'95*, pp. 61–70, Pittsburgh, PA, Nov. 1995.

[3] S. G. Eick. Aspects of network visualization. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 69–72, Mar. 1996.

[4] G. W. Furnas. Generalized fisheye views. In *Proc. of the ACM SIGCHI'86 Conf. on human Factors in Computing Systems*, pp. 16–23, Boston, MA, Sept. 1986.

[5] N. Gershon. Moving happily through the world wide web. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 72–75, Mar. 1996.

[6] 平川, 安村. ビジュアルインタフェース — ポスト GUI を目指して —. bit 別冊. 共立出版, 東京, 1996.

[7] J. Lamping, R. Rao, and P. Pirolli. A focus+context technique based on hyperbolic geometry for visualizaing large hierarchies. In *Proc. of the ACM SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems*, May 1995.

[8] J. D. Mackinlay, G. G. Robertson, and S. K. Card. The perspective wall: Detail and context smoothly integrated. In *Proc. of ACM CHI'91*, pp. 173–179, Apr. 1991.

[9] E. G. Noik. A space of presentation emphasis techniques for visualizing graphs. In *Proc. of Graphics Interface '94*, pp. 225–234, 1994.

[10] S. C. North. Application of graph visualization. In *Proc. of Graphics Interface '94*, pp. 235–245, 1994.

[11] R. Rao, J. O. Pedersen, M. A. Hearst, J. D. Mackinlay, S. K. Card, L. Masinter, P.-K. Halvorsen, and G. G. Robertson. Rich interaction in the digital library. *Commun. ACM*, 38(4):29–39, 1995.

[12] E. Rivlin, R. Botafogo, and B. Shneiderman. Navigating in hyperspace: Designing a structure-based toolbox. *Commun. ACM*, 37(2):87–96, 1994.

[13] M. Sarkar and M. H. Brown. Graphical fisheye views. *Commun. ACM*, 37(12):73–84, 1994.

[14] M. Sheelagh, T. Carpendale, D. J. Cowperthwaite, and F. D. Fracchia. 3-dimensional pliable surfaces: For the effective presentation of visual information. In *Proc. of ACM UIST'95*, pp. 217–226, Pittsburgh, PA, Nov. 1995.

[15] 塩澤, 西山, 松下. 協調検索型ハイパーメディアの www による実現. 情処研報 95-GW-13, 95:13–18, 1995.

[16] 相馬, 西山, 塩澤, 松下. ハイパーメディアにおける協調検索とそれを支援する情報 視覚化の方法. 情報処理学会 第 52 回 全国大会 5F-1, 第 3 巻, pp. 245–246, Mar. 1996.