

# 「知球」: 持続的に発展可能な時空間記憶の構築

久保田 秀和 角 康之 西田 豊明

京都大学大学院情報学研究科

本論文では、知球と呼ばれる持続的に発展可能な個人の外化記憶構築システムを提案する。初めに、外化記憶をコンテンツの一種として捉えることにより、その持続的な発展を時空間的なコンテンツの蓄積としてモデル化する。知球とはこの時空間記憶モデルに基づいた外化記憶を仮想的な球面上に構築するシステムである。実験として約 1100 件のコンテンツ断片から構成される外化記憶を知球上に構築した結果、知球の奥行きや左右、カードの大きさなど空間の手がかりを生かした外化記憶の配置を行うことによって、自分らしいポリシーに基づく外化記憶が構築可能であるという示唆を得た。

## Sustainable Knowledge Globe: The Sustainably Developed Time-Spatial Memory

Hidekazu KUBOTA Yasuyuki SUMI Toyoaki NISHIDA

Graduate School of Informatics, Kyoto University

This paper proposes Sustainable Knowledge Globe (SKG) that is a system for constructing sustainably developed externalized memory. In our time-spatial memory model, externalized memory is regarded as digital content, and its sustainable development is represented by time-spatial storage of content. SKG is a system for constructing time-spatial memory on a virtual spherical surface. About 1100 pieces of content have been experimentally constructed on SKG, and the results have implied that SKG enables a person to construct his externalized memory according to his own policy by locating his memory with spatial clues such as depth, left and right, and its size.

### 1. はじめに

記憶は人の経験や知識を収めた知的生産の要であり、我々は日常的に自らの記憶の断片をメモや日記帳、写真やビデオ等の形で残している。文書や画像として外化された記憶は、未来における記憶の想起や記憶の客観的な観察に際して大きな助けになる。また、アルバムの写真に代表されるよう自分の記憶を他人に説明したり、他人と思いを共有したりするコミュニケーションの道具としても利用される[山下 2001]。特に近年では個人の外化記憶が Web 日記や blog のコンテンツとして広く公開されるようになっており、川浦[川浦 1999]はこの Web 日記を継続的に作成する動機として自己の明確化などの自己に向かう効用と対人関係の促進など他人と関わる効用の両側面を挙げている。このように外化記憶とは自分の記憶の断片であると同時に、コンテンツとしてプレゼンテーション可能であることによって蓄積を動機づけられる面を持つと考えられる。

コンテンツとは一般的に、テキスト、静止画、音声、動画、またはそれらの複合形で表現される著作物を指しており、作者自身を含む誰かによる鑑賞を前提として作成されたものであると言える。ここで個人の外化記憶もコンテンツとして残されることによって、未来の自分に対する伝達や社会への発信が容易になると考えられる。梅棹[梅棹 1969]は個人や社会の知的生産を積み上げるためには、個人の経験を膨大な記録カードや日記として蓄積し、閲覧・分析を可能とする個人文書館が必要であると述べた。この施設は当時の情報通信技術では実現が困難であったと言えるが、現在ではコンテンツの電子化により生涯に渡って持続的に外化記憶の構築と公開が可能な場の実現も十分に期

待できるようになった。

本論文では持続的に発展可能な個人の外化記憶構築システムの実現を目的として、外化記憶の時空間記憶モデルを提案する。時空間記憶モデルでは、持続的に発展可能な外化記憶を空間的に構築されるコンテンツとその時間的な発展としてモデル化する。また、時空間記憶モデルを知球システムとして実装し、1100 件のコンテンツ断片を用いた外化記憶を実験的に構築することによって、持続的な利用によってもたらされる大量の外化記憶管理の実現可能性について議論する。

### 2. 持続的に発展可能な外化記憶

本論文では外化記憶をコンテンツの一種として捉える。持続的に発展可能な外化記憶とは、長期間蓄積可能であると同時に長期間の利用にも耐え得るものでなくてはならない。いったん外化した記憶は自分で再び閲覧したり他人に見せたりする手段がなければ死蔵されてしまう。例えば写真とは外化記憶であると同時に人に見せるコンテンツでもある両面性が有用であるがために、長期間に渡る蓄積を動機付けられていると考えられる。特に、アルバムのように後でもう一度閲覧することを考慮してまとめられたコンテンツは、他人にとっても未来の自分にとっても閲覧が容易なものとなる。

本章では、個人の外化記憶構築システムのモデルとして時空間記憶モデルを提案する。時空間記憶モデルでは外化記憶をコンテンツとその材料となるコンテンツ断片の集合として時空間的に蓄積および閲覧可能とすることにより、

その持続的な発展を支援する。本章では以下、外化記憶の時間的、空間的蓄積について詳しく考察し、最後に時空間記憶モデルとしてまとめる。

## 2.1 外化記憶の時間的な蓄積

アルバムがコミュニケーションの道具として用いられるとき、アルバムはコミュニケーションを活性化することによってまた新たな写真を生み出すきっかけとしても働いていると言えるだろう。ここでアルバムをコンテンツ、写真をコンテンツ断片として換言すると、外化記憶の時間的な蓄積はコンテンツ構築のプロセスと、コンテンツ閲覧によって活性化されるコンテンツ断片の外化プロセスを循環させることによって促進されると考えられる。

このような循環型の知的生産は、野中らの SECI モデル [野中 1996] や川喜田の W 型問題解決モデル [川喜田 1970] を援用して説明することができる。SECI モデルでは暗黙知と呼ばれる主観的・経験的で言語化の困難な知識と形式知と呼ばれる客観的で明確に言語化可能な知識との絶え間ない変換によって知識が生み出される。これをアルバムの例に当てはめると、ばらばらの写真とは自分だけが理解できる暗黙的な形で蓄積されたコンテンツ断片であり、アルバムとは他人に説明するための比較的形式的なコンテンツであると考えることが出来る。また W 型問題解決モデルではアイデアを記録した紙片の集合を操作して問題解決を進め、その結果をまとめた文章や口頭発表からフィードバックを受けてまた新たなアイデアの紙片を得る（これは特に累積 KJ 法と呼ばれる）。コンテンツ断片とはここで言う一つ一つの紙片であり、文章や口頭発表はコンテンツであると見なすことが出来る。

循環型の外化記憶構築支援システムとしては、平田ら [平田 2001] の CoMeMo-Community が挙げられる。CoMeMo-Community はコミュニティにおける知識共有を目的としたシステムであり、Web ブラウザ上で可視化された他人の外化記憶から得たフィードバックを自分の外化記憶として蓄積可能とする。我々はこれまでに CoMeMo-Community を発展させる形で EgoChatII [久保田 2001]、EgoChatIII [久保田 2003] と呼ばれる分身エージェントシステムを構築してきた。分身エージェントとは個人の外化記憶を代表する会話エージェントであり、蓄積された本人の外化記憶を元に本人の代理としてユーザと会話を行うことが出来る。EgoChatII は外化記憶のプレゼンテーション方式として会話的表現を用いることにより、ユーザのフィードバック獲得を支援するシステムである。また EgoChatIII は外化記憶を知識カードと呼ばれるカード型のコンテンツ断片を用いて記述することにより、画像と読み上げ音声から構成されるストーリー型コンテンツを作成可能にした点と、質問応答エンジンを介した本人とユーザの双方に対するフィードバック獲得支援を特徴とする。

## 2.2 外化記憶の空間的な蓄積

前述の EgoChatIII を 2 つの講義コミュニティに対して適用した結果、それぞれ 3 ヶ月と 5 ヶ月の運用の間に総計約 2300 枚の知識カードから構成される 263 のストーリーが蓄積された [久保田 2004]。このため、外化記憶の長期的な蓄積が膨大な量のものとなることは容易に予想可能である。大量の外化記憶をそのまま取り扱うことは人にとって認知的負荷の高い作業であり、発想支援や問題解決支援システムを用いた知的活動を行うためには、その前段階において大量の外化記憶を整理し、ユーザにとって認知的負荷の低い作業環境を実現する必要がある。

一般に大量のものを取り扱う上でその空間的な配置は欠かせない。空間的に配置されたものは全体を俯瞰可能であ

り、手前や奥、右・左といった身体的な感覚に助けられることによって情報配置の把握が容易となる。また、「整理の第一原則は、ものの『おき場所』をきめる」ことであると梅棹 [梅棹 1969] が述べているように、外化記憶を整理するためにはその配置法を自分で決めることも重要であると言える。他人が整理したものとは比べると、自分自身が部屋に置いたものはたとえ乱雑であってもどのあたりにあるかを想起しやすいと感じられる。これと同様に、外化記憶においても自分のポリシーに基づく情報配置を支援する技術によって、記憶想起のための暗黙的な手がかりを増すことが出来ると考えられる。

情報を空間的に探索するためには、ユーザによる情報全体の俯瞰と興味のある情報への焦点化を可能とするズームング [岡田 2000] 技術も必要である。膨大な量を持つ情報の空間化において問題となるのがディスプレイの大きさから受ける制約であり、限られた面積の中で必要な情報のみズームングするための手法が数多く提案されている [Furnas1986] [Robertson1991] [Bederson1994] [Lamping 1995] [塩澤 1997]。情報配置とズームングとの違いは、前者が情報の長期的な配置を決め、後者が情報の一時的な俯瞰・焦点化を行う点である。情報を長期的に配置するためには十分な広がりを持つ空間を用意し、またユーザによる体系的な配置を可能とする必要がある。一方、広がりを持つ空間の俯瞰と焦点化を行うためには空間の拡大縮小（線形ズームング） [Bederson1994] や情報の歪み配置（非線形ズームング） [Furnas1986] [Lamping1995] を可能とする必要がある。

本論文では主に外化記憶の空間的な情報配置の課題に取り組み、ズームング技術を情報配置の補助として位置づける。情報配置の従来研究としては Workscape [Ballay1994]、Web Forager [Card1996]、Data Mountain [Robertson1998] 等の空間を用いた文書管理に関する研究を挙げることが出来るが、ここでは高々 100 件程度までの文書を配置可能な空間しか議論されていない。大量の外化記憶を空間に配置可能とするためには、空間全体を俯瞰可能とするズームング技術や、限られた空間を有効活用するために配置される情報の大きさそのものを縮小可能とするスケールリングが必要であると考えられる。

## 2.3 時空間記憶モデル

2.1 節、2.2 節の議論を踏まえ、個人の外化記憶構築システムのモデルとして時空間記憶モデルを提案する。持続的に発展可能な外化記憶を構築するためには、外化記憶の時間的な積み上げと、大量の外化記憶を配置可能な空間的広がりが重要であると考えられる。図 1 に時空間記憶モデルの概念図を示す。ここで外化記憶はコンテンツとコンテンツ断片の集合から構成されるものとし、外化記憶の時間的な蓄積は  $t=0$  を開始時刻とするとコンテンツ断片外化のプロセス ( $t=1$ ,  $t=3$ ) とコンテンツ断片からコンテンツを構成するプロセス ( $t=2$ ) を交互に繰り返すことによって時刻  $t=n$  まで進められる。また、蓄積されたコンテンツ断片とコンテンツは空間的に配置されてゆく。このときコンテンツ断片はジオメトリ的に配置され、コンテンツはコンテンツ断片のトポロジ的な連結によって表現される。

時空間記憶モデルは、問題解決の技法である累積 KJ 法 [川喜田 1970] を、コンテンツ構築の技法として発展させたものであると言える。時空間記憶モデルにおける外化空間は累積 KJ 法における問題が解決するまでの一時的な作業空間ではなく、コンテンツを構築するためのコンテンツ空間である。コンテンツとは人の閲覧に向けたひとまとまりの情報であり、複合的なメディアを用いて表現される。またコンテンツ空間とはコンテンツを閲覧するためのブラウザ機能を併せ持つものである。

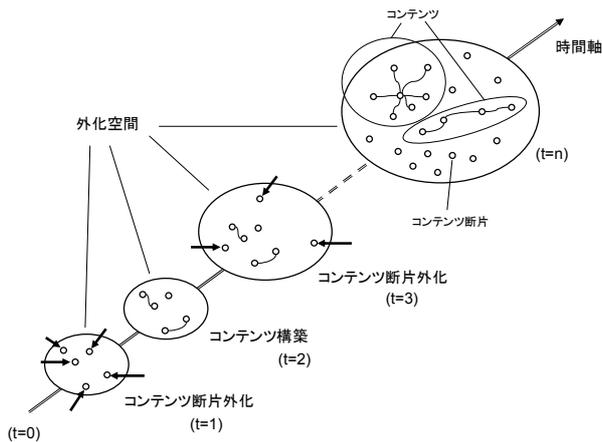


図 1 : 時空間記憶モデル

時空間記憶モデルを用いた外化記憶構築システムは、ユーザの手によって次の手順で利用される。

1. ユーザは自分の記憶をコンテンツ断片として外化する。
2. ユーザはコンテンツ断片を外化空間内へジオメトリ的に配置する。
3. ユーザはコンテンツ断片をトポロジ的に連結し、コンテンツを構築する。
4. ユーザはコンテンツを自分で見る、あるいはコンテンツを人に見せる。
5. ユーザはコンテンツからフィードバックを受け、新たな記憶を外化する（1へ戻る）。

ここでコンテンツ断片のジオメトリ的な配置は、コンテンツを構築する際の暗黙的な手がかりを与える。ユーザはコンテンツ断片を自分の好みのポリシーで配置しながらコンテンツを構築することが出来る。一方、コンテンツ断片のトポロジ的な連結とは木構造による分類や順序的なストーリー構造であり、コンテンツの閲覧を容易なものとする。ジオメトリ的な配置と比較してトポロジ的な連結は外化記憶を他人に説明する際に有効な、より明示的な表現である。

### 3. 知球

時空間記憶モデルに基づいた外化記憶構築システムとして、「知球」(Sustainable Knowledge Globe)を開発した。知球は Microsoft .NET Framework 1.1 と Managed DirectX9.0 を用いて実装された Windows を搭載する PC 上で動作するシステムであり、マウスとキーボードから成る標準的なインタフェースを用いて操作可能である。知球では外化記憶をカード型のコンテンツとして表現し、図 2 のような仮想的に構築された球面を用いて蓄積および閲覧する。

#### 3.1 知球カード

知球では外化記憶のコンテンツ断片として知球カードと呼ばれる形式を用いる。知球カードとはファイル、ファイルのタイトルを示すテキスト、ファイルに対する注釈テキストの三要素から構成されるコンテンツ断片であり、図 3 のような XML 形式を用いて記述される。

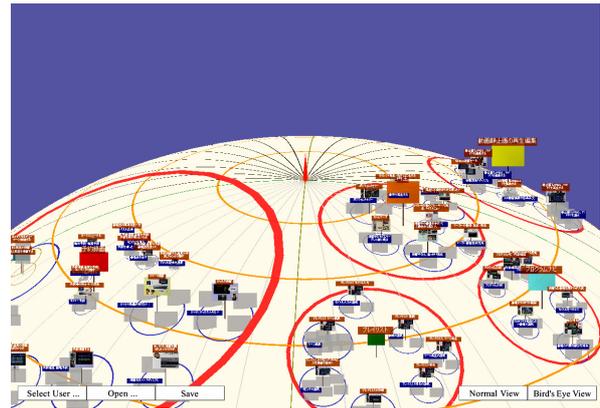


図 2 : 知球の画面

図 3 において<card>要素は一つの知球カードを示す。一つの XML ファイルに<card>要素はただ一つ記述されるものとする。<card>要素は<title><url><annotation>を子要素として一つずつ持ち、<title>要素内にはタイトル、<url>要素内にはファイルを指す URL、<annotation>要素内には注釈が記述される。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<card version="1.0">
<title>BS デジタル録画時の注意</title>
<url> files\5_2.jpg</url>
<annotation>BS デジタル放送の録画は Ir システムを DVD レコーダーのリモコン受光器の側に置いてから、デジタルチューナー側でタイマーをセットする必要がある。</annotation>
</card>
```

図 3 : 知球カードの例

知球カードは知識カード[久保田 2003]と呼ばれるコンテンツ断片の形式を拡張したものである。知識カードはタイトルと画像ファイル、本文テキストから構成され、複数枚の知識カードを順序付けて並べることにより、ストーリー型コンテンツを作成することができる。知識カードはこれまでに会話エージェントシステム用のコンテンツ断片として利用され[久保田 2002][久保田 2003]、地域情報コンテンツや大学の講義・レポートコンテンツとして 5000 枚を超える知識カードから構成される 1000 のストーリーを作成した実績がある。知識カードでは簡単のためファイルとして画像のみを許したが、知球カードでは文書や映像を用いたコンテンツも作成できるようにこれをファイル一般へと拡張した。

カードはファイルのサムネイル画像とタイトル文字、最終更新日時の組として知球上で表示される(図 4)。また、カードはユーザが判読しやすいように常に画面に対して水平かつ正面を向くように表示される。

知球カードの作成にはカードエディタを用いる。カードエディタは知球上の任意の位置で右クリックメニューから開くことが出来る。図 5 はカードエディタの画面であり、タイトルおよび注釈の入力欄とファイル編集領域から構成されている。ファイル編集領域では、手描きの図や読み込み画像を用いた PNG 画像ファイルの作成と、色やフォントサイズの変更可能なテキストと画像を用いた RTF 文書ファ

イルの作成が可能である。作成されたファイルは知球カードとともにローカルディスクへ保存され、その位置は知球カードの<url>要素内に記述される。現在、知球カードにおいて利用可能なファイルは画像ファイルと RTF ファイルのみである。

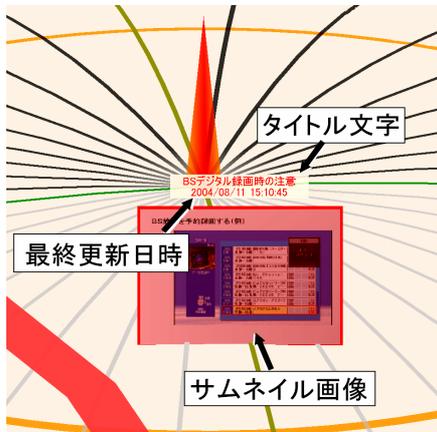


図 4：知球カードの表示例

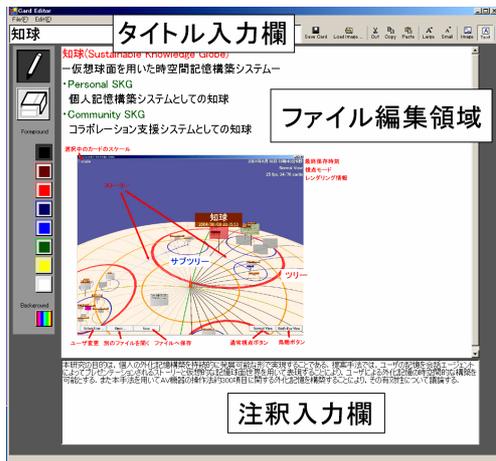


図 5：カードエディタの画面

また、知球カードは EgoChatIII など従来システムとの互換性を保つために、既存の知識カードを変換することによって作成することも可能である。

## 3.2 外化記憶の配置

ユーザが外化記憶を配置するための空間の設計について、次元とトポロジの順に考察する。

### 空間の次元

二次元の情報配置空間としては、Windows や MacOS など PC 用のファイル管理環境であるデスクトップという考え方がある。このデスクトップは実世界作業機のメタファであると言えるが、二次元表現であるがために我々が実際に机上のものを取り扱う際の三次元的な奥行き感覚を利用することが出来ない。

三次元の奥行き感覚を利用した情報配置空間は、地面の有無によって二種類に分類できる。[Ballay1994] [Card1996] [Robertson1998]は文書を仮想的な地面へ配置することによって管理するシステムであり、地面という判り易い基準があるため人にとって位置を把握することが容

易である。ギブソン[ギブソン 1985]によると視覚世界の特徴は地表や地平線のような対象の背景によって与えられるという。つまり、配置した情報の背景に広がる地面は人の空間知覚を大いに助けるものであり、地面の有る三次元空間はジオメトリ情報の表現に向いていると言える。その反面、情報配置が地面よりも上の空間に限定されるという制約を持っている。

一方、地面の無い三次元空間は配置に制約を持たない反面、空間知覚の手がかりはより少ないものとなる。地面の無い三次元空間はジオメトリ情報よりもトポロジ情報の表現に向いていると言え、[Robertson1991][塩澤 1997]ではファイルの階層構造の可視化に利用されている。

時空間記憶モデルで取り扱う空間情報にはジオメトリ的な配置情報とトポロジ的な連結情報の 2 種類があるが、コンテンツとして連結されるコンテンツ断片は一部であるためジオメトリ情報のほうが多くを占めている。このため、本論文では地面の有る三次元空間を採用する。

### 地面のトポロジ

地面のトポロジは、有限平面、無限平面、二次元トラス<sup>1</sup>、球面など様々なものを取り得る。プロトタイプ版知球である Knowledge Landscape[許 2004]では有限平面を用いて外化記憶を配置した結果、平面の縁近辺に置いた外化記憶は縁方向への広がり阻害されるという示唆を受けた。無限平面や二次元トラスは縁がないためこの点で問題はないが、人は通常、無限平面や二次元トラス状の地面を持つ世界に触れる機会がない。このため、本論文では我々の住む地球同様、球面を地面とする空間を採用した。我々は地球というものをよく知っており、球面上の位置は緯度経度としてたやすく把握することが出来る。

以上より、知球では外化記憶を配置するための空間として、図 2 に示したような球面を用いる。地面は砂色をしており、10 度毎に緯線経線が引かれている。東経と西経、北緯と南緯は区別がつく様に色を変えてある。また目印のため北極には赤い四角錐、南極には青い四角錐が立てられ、赤道は赤色の帯となっている。これらの印は日本の位置や広さなど現実的な地球上の地理に対応させるためのものではなく、ユーザにとって球面の把握を容易にするための手がかりとしてつけられたものである。

ユーザは知球カードをマウスの左ボタンを押して掴むことによって移動させ、知球表面上の好みの位置に配置することが出来る。

## 3.3 外化記憶の連結

知球カードを人に説明可能なコンテンツとして連結する手法としては、木構造とストーリー構造を用いる。ユーザは知球カードの集合に対して任意の形の木構造とストーリー構造を与えることが出来るものとする。

### 木構造

木構造は情報分類の手法として一般的であり、また多くの人が使い慣れている。分類することによって、知球カードは意味のあるひとまとまりのコンテンツとして閲覧することが可能となる。ジオメトリ情報を持つ知球カードに対して木構造を与える手法として、図 6 のように親子関係を円の領域として示す。親は円の中心にある知球カードとして表現され、その円内の任意の位置にある知球カードを子とする。ここで親となる知球カードは分類内容がよく目に

<sup>1</sup> 上下・左右の繋がった平面

つくように高い足がつけられ、タイトルは通常よりも大きく表示される。また、円は入れ子構造をとることによって、木の深さを表現できる。木の入れ子関係は円周の色を変えることによって強調し、ルート要素の円を赤として、その後、一つ深くなる毎に青と茶褐色を交互に用いる。円の半径は親から最も遠い子との間の距離から自動的に計算され、ユーザが子を移動するたびに更新される。

知球全体でルート要素を一つとすると分類や配置への制約が大きいため、知球では複数の木が存在することを許している。同様の理由で親も子も持たない知球カードの存在も認めている。

木構造の表現としてアークを用いなかった理由は、複数の木の位置が重なり合う際にアークが交差して構造が判り辛くなるためである。知球では親子関係にない円は原則的に重なり合わないという制約を設けることによって、木構造を明瞭なものとしている。

知球カードを移動させるとその全ての子孫は相互の位置関係を保ったまま一緒に移動する。また、知球カードの親子関係は、子となる知球カードを親となる知球カード上あるいはその円内に重ねることによって結ぶことができる。逆に子の知球カードを親の円外に出すことによって親子関係は解消される。通常の移動では、知球カードは別の木と重ねたり自分の木から離れたりすることは出来ないが、シフトキーの押されている間のみこれを許すものとする。この親子関係の変更も移動同様全ての子孫に対して適用される。

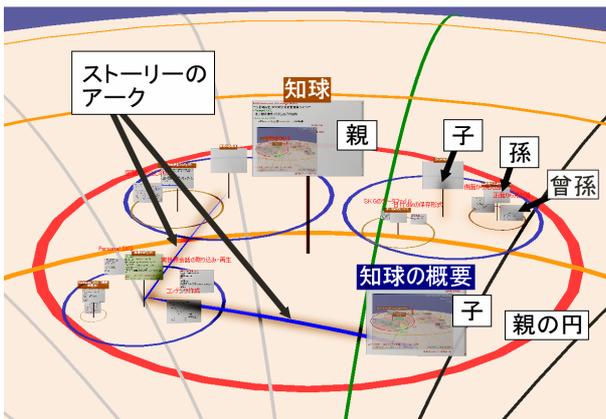


図6：木構造とストーリー構造

### ストーリー構造

ストーリー構造とは方向を持つリスト構造であり、複数の知球カードに順序関係を与えることによって、カード間の話の筋が明確に判るようにする。ストーリー化はコンテンツ断片の集合に対してコンテンツとして欠けた部分を気付かせるという利点も持っている[川喜田 1970]。

ストーリー構造は二つの知球カードを図6に示したようなアークで繋ぐことによって表現する。アークは順序が前の知球カード側が太く、後ろの知球カード側が細くなっている。このときアークは複数の木を横断してもよい。木構造同様、ストーリー構造のアークも交差が起こりうるが、直線的なリスト構造であるため放射的な木構造ほどの読みにくさはないとここでは仮定している。図6では「知球の概要」というタイトルを持つ知球カードを始まりとして、「知球プロジェクト」「知球の応用」という2枚のカードが順に連結されることによって、画像ファイルとその注釈テキストから成る知球研究の紹介ストーリーが構成されている。

知球カード間のアークは、ユーザがカード上で右クリッ

クメニューから接続コマンドを選択し、接続先のカードをクリックすることによって作成する。切断も同様の手順で行う。ストーリーの開始点となる知球カードのタイトルは、判別を容易にするため通常よりも大きく表示される。

### 3.4 知球のブラウジング

知球システムの起動直後は北極周辺を斜め上から見た知球が表示される(図2)。ユーザはここをホームポジションとして、知球を回転、ズームングすることによって任意の場所の任意の範囲をブラウズ可能である。マウスでは大きな自由度を持つ回転操作は困難であるため、緯度方向と経度方向の回転の2自由度のみ持たせている。緯度方向の回転はマウスの右ボタンを押しながらの上下移動で、経度方向の回転は左右移動で行う。

知球カードにマウスカーソルを合わせると、タイトルと最終更新日時が大きく表示される。さらにカードをクリックすると、対象カードが画面の中央となるよう知球が自動的に回転して画面一杯の大きさまでズームアップするアニメーション動作を行う。このズームアップ状態の知球カードを図7に示す。



図7：ズームアップ状態

大量の外化記憶を空間に配置するためには、空間全体の俯瞰と部分の焦点化を可能とするズームングが必要である。情報配置の段階では情報間のジオメトリが勝手に変更されてしまう歪み配置を用いたズームングは望ましくないため、[Bederson1994]のような拡大縮小アプローチを取る。

知球のズームングはユーザがマウスホイールの回転によって調節する。知球カードのサムネイル画像は大中小3種類が用意されており、ズームインするほど詳細な画像と大きなタイトルが表示される。一方、ズームアウトするにつれ知球カードの画像・タイトル表示は詳細度を失い、同時に表示可能な範囲が増える。このとき、計算機処理の負荷を抑えるため木構造の深い位置にある知球カードから順に非表示状態へ変更する。図8は図2の知球をズームアウトしたものであり、最も内側の円の中のカードは非表示状態となっている。

また、ユーザは通常視点と鳥瞰の二つの視点を選んで知球を眺めることが可能である。通常視点は斜め上から地面を眺める視点であり、奥行きを感じられる視点となっている。鳥瞰は真上から地面を眺める視点であり、奥行きを持つ空間で背後のカードが前のカードに隠されてしまうこと(オクルージョン)を回避できる(図9)。



図 8 : ズームアウト状態

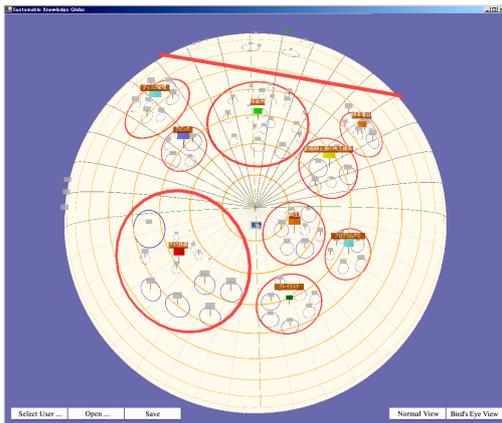


図 9 : 鳥瞰



図 10 : 自動プレゼンテーション

### 3.5 ストーリーの自動プレゼンテーション

ユーザによる能動的な知球のブラウズに加え、ユーザが自分のストーリーを客観視することを支援するために、キャラクターを用いたストーリーの自動プレゼンテーションを可能とした。知球カードがストーリー構造を持つ場合、ズームアップ状態で再生ボタンが選択可能となる。ユーザが再生ボタンを押すと画面の右端にキャラクターが登場して自動プレゼンテーションが始まる(図10)。プレゼンテーションでは知球カードのサムネイル画像を背景としてキャラクターが注釈テキストを市販の音声合成ソフトウェアを用いて読み上げてゆく。一枚の知球カードを読み終えるとストーリー構造で連結された次の知球カードへ移動し、同様に読み上げる。ストーリーの最後のカードを読み終えるとプレゼンテーションは終了する。

自動プレゼンテーションによってユーザは自分で作成し

たストーリーをテレビのように客観的に眺めることが出来る。それに加え、複数の人に自分のストーリーを見せたい場合に予め作成したストーリーを再生すれば何度も同じ操作をする必要がなくなるという利点がある。

ここでキャラクターを用いた理由は、ばらばらに位置する知球カードに対して一人のプレゼンテーターを与えることにより、ストーリーの一貫性を強調するためである。キャラクターは二次元アニメーションで動作し、読み上げ時の口パクと移動時の歩行動作を行う。

### 3.6 知球カードのスケール

有限の空間である知球表面へ大量の知球カードを収めるために、ユーザが必要に応じて知球カードの幅と高さのスケールを変更できるようにした。スケールは1.0(等倍)から0.2までの値をとり、木構造においては親にあたるカードのスケールが子のカードのスケールへ自動的に乗算される。これにより下の世代のカードは必ず上の世代のカード以下の大きさとなる。下の世代のカードをより小さくした理由は、木構造を用いた分類では一般に下の世代が上の世代よりも具体的な内容を含むため、詳細を閲覧するズームイン・ズームアップ状態以外ではカードの判読が困難でも良いと考えたためである。またカードのスケールと連動して子との間の距離も同じ比率で伸縮するため、木の円の半径も拡大縮小する。

スケール操作はユーザがカード上でシフトキーを押しながらマウスホイールを回転させることによって行う。スケールの決定を全自動化しない理由は、カードの配置同様、カードの大きさにもユーザの意図(ユーザにとっての重要度や使用頻度の区別など)を反映可能とするためである。

### 3.7 外化記憶の発展記録

知球上の外化記憶の内容はユーザが保存ボタンを押すことによって毎回新規のデータとして保存される。ユーザが知球を起動した直後は最新のデータが知球上にロードされる。また、ユーザはキーボードの"PageUp" "PageDown" キーを押すごとに時系列順に前後のデータをロードすることができる。時系列順で一番初めのデータは知球上になにもない状態であり、ユーザは初めから現在までの外化記憶構築の変遷を観察することが可能である。

## 4. 実験

知球上へ持続的にカードが蓄積された際、時空間記憶モデルに基づく外化記憶の操作が十分に可能であることを確認するため、大量のカードによる外化記憶を実験的に構築した。実験ではノートPC(CPU: Mobile Intel Pentium4 2.20GHz, メモリ: 768MB, ビデオカード: NVIDIA GeForce4 460 Go, OS: WindowsXP)上で知球を動作させた。現在はまだ知球カードの蓄積が少ないため、既存の知識カード形式で作成されたコンテンツを知球カードへ変換して読み込むことによって量を実現した。知識カードコンテンツとしては分類項目とストーリーを多く持つDVDレコーダーのマニュアルコンテンツを利用した。このマニュアルコンテンツは個人がDVDレコーダーの操作法を学ぶための素材としてアルバイト作業員によって作成され、「機能例」「設定・初期設定」「操作法」「知識」の4つの大分類と「予約録画」「安全上のご注意」など23の小分類によって分けられた290のストーリーから構成されるコンテンツ

である<sup>2</sup>。290 のストーリーは 1100 枚の知球カードから構成され、ストーリーに含まれないカードは存在しない。ここでは本マニュアルコンテンツを個人が外化した DVD レコーダーの使い方に関する記憶であると仮定して、配置操作を行うものとする。

読み込んだ知球カードの初期配置を図 11 に示す。左の画面はホームポジションから知球を見た図であり、右の画面はその裏側を表示させたものである。外化記憶は未分類の部分を残すため小分類をあえて大分類の外に出し、手作業でばらばらに配置した。大分類の中には小分類としてまとめられていないストーリーも含まれており、これはそのまま大分類の中に残した。図 11 では「設定・初期設定」「操作法」に含まれるストーリーが多く、スケールリングは行っていないため円の面積も他に比べて広いものとなっているのが判る。

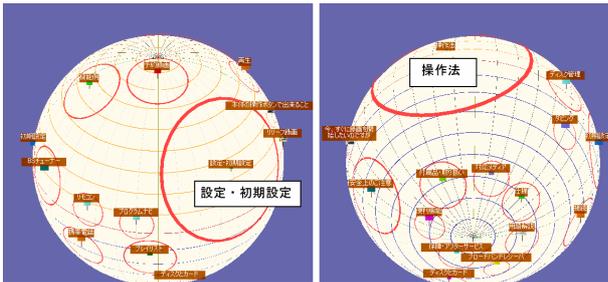


図 1 1 : 初期配置

初期配置が終わった後、筆者（久保田）の手で知球上のカードを操作し、自分自身にとって判り易い配置へと変更する作業を行った。筆者はこれまで DVD レコーダーと呼ばれる機器を利用したことはなく、今回の実験ではノート PC の隣に機器を置いて実際に操作しながら、自分自身にとって使い易いマニュアルを知球上に構築するつもりで作業を進めた。

筆者の配置ポリシーとしては、使用頻度が高いと思われるカードは大きく、低いと思われるカードは小さくスケールリングするものとした。また、近々再閲覧予定の木をホームポジションから見て手前に、ずっと先に関覧予定の木を奥行き方向へ配置することによって、今後機器操作法を学習するための計画を立てた。ホームポジションの東西についてはそれぞれ録画に関する機能と再生に関する機能に対応づけて配置することにより、筆者にとって位置を覚えやすいものとした。木構造を用いた分類に関しては、自分の覚えやすい分類名への変更や、分類間の移動を行った。

以上の作業を 2 時間行った結果、図 12 のような配置が完成した。主な変更箇所とその理由は次の通りである。

- ・機器の設定は既に他人によって終わっていたため、「設定・初期設定」は使わないものとして木全体を小さくスケールリングし、ホームポジションから見えない場所に置いた。
- ・知球カードの閲覧と機器の操作を繰り返すうちに、現在機器が置かれた環境では使用できない機能があることに気付いた。このため、使用できない機能に関するカードは小さくスケールリングした。

<sup>2</sup> ここで用いられているコンテンツは、平成 15 年度東京大学情報理工学系研究科 ARA プログラムによる西田・黒橋研と松下電器産業株式会社の共同研究において、松下電器産業株式会社製の <DIGA(DMR-E200H)> のマニュアルから制作したものであり、松下電器産業株式会社から許諾を得て掲載している。

- ・最も興味があった録画機能に関するカードを見つけた場合は、「予約録画」の木の子供となるように移動した。
- ・基本的な操作である録画再生機能に関するカードはホームポジションから見た際に手前となるように配置した。発展的なダビング機能や携帯電話との連携機能は将来学ぶべきものとして、奥のほうへ配置した。
- ・ホームポジションから見た手前側には、大きな空き地を確保した。これは今後、機器を使う上で気付いたことなどを記録し配置してゆくための予定地である。



図 1 2 : 配置完成図（ホームポジションから見た図）

## 5. 議論

4 章における実験の結果、知球の奥行き方向や左右方向、カードの大きさなどのパラメータに対して筆者にとって判り易い意味を持たせることによって、自分らしいポリシーに基づく知球を構築することが出来るという示唆を得た。

知球のブラウジングを始めた最初の 30 分は全く DVD レコーダー機器操作の勝手が判らなかつたため、ストーリーを再生することによっておおよその操作の流れを掴んだ。外化記憶はたとえ自分が作成したものであっても時間が経つにつれて文脈情報に関する記憶が薄くなると考えられるため、このようなストーリー再生機能は外化記憶の繋がりを思い出す助けになると考えられる。また、その後は知球カードのタイトルとサムネイル画像をざっと眺め、機器上の対応する操作を試行するというのを繰り返しながらカード配置を変更した。

描画パフォーマンスは平均して 20fps 前後であり、ストレスなく知球を操作することが出来た。実験では全部で 1000 枚を超えるカードを取り扱ったが、ズームとスケールリングにより同時に表示されるカードはおおよそ 100 枚以内に抑えられているため、現在のパフォーマンスはこれ以上カードが増えても変わらないと予想できる。

現在、知球は 4 章の実験の他にも会議の議事録や研究メモの作成に利用されている。筆者のうち西田は Social Intelligence Design (SID) 国際ワークショップの記録作成のために知球を利用し、三回のワークショップを 84 枚のカードを用いてまとめた。特に SID2001, 2003 における議論のサマリーが 7 枚の知球カードから成るストーリーとして作成され、SID2004 の Opening Talk では参加者に対して自動プレゼンテーションを用いて発表された。また西田は Closing Talk でも会期中知球上に作成した記録を用いて参加者にまとめた講演を行った。筆者のうち久保田は知球に関する 76 枚のカードを作成し、本論文執筆の助けとした。以上のように知球は、個人的な外化記憶スペースとしてだ

けでなく、議事録や講演のスライドのように他人にも披露する機会のある外化記憶としての利用が可能である。今後、複数人による操作を許すことによって共有ホワイトボードとしての発展も期待できる。

当初、一つの知球で個人の全ての外化記憶を管理できると考えたが、実際に使い始めてみるとごく個人的な知球もあれば人に見せることのある知球もあり、利用の目的や見せる相手によって一人のユーザにつき複数の知球を持つほうが自然であるという示唆を受けた。現在、一ユーザが複数の知球を持つことは可能であるが、複数の知球間のカード操作が出来ないため今後の課題としたい。加えて、現在、知球カードとして表現できるのは画像と RTF 文書ファイルのみであるが、HTML 文書や PDF 文書などより一般的なファイルの利用も今後サポートしたい。

関連研究としては、大量の外化記憶について議論した「記憶する住宅」[美崎 2004]や MyLifeBits [Gemmell2002] を挙げる事が出来る。「記憶する住宅」は個人の見たものや書いたものをスチル画像として蓄積し、住宅に埋め込んだディスプレイでスライドショー表示することによって記憶想起活動を活性化する点に特徴がある。本論文は外化記憶の三次元空間配置を可能とする点と、画像に加えテキストを用いたコンテンツを構築可能な点でこれと異なる。MyLifeBits は個人の記憶をマルチメディアデータとしてデータベースへ蓄積することによって、外化記憶の検索と視覚化を実現する。また外化記憶を用いたストーリー型コンテンツの作成・閲覧も行うことが出来る。本論文は三次元空間を用いることにより、人の空間知覚能力を利用した外化記憶の操作が可能でこれと異なる。

## 6. まとめ

本論文では持続的に発展可能な外化記憶構築システムの実現を目的として、外化記憶の時空間記憶モデルを提案した。時空間記憶モデルでは、外化記憶をコンテンツの一種として捉えることにより、その持続的な発展を時空間的なコンテンツの蓄積としてモデル化した。また、時空間記憶モデルを知球システムとして実装した。知球では時空間的なコンテンツを仮想的な球面上に構築可能とした。実験として約 1100 件のコンテンツ断片から構成される外化記憶を知球上に構築した結果、知球の奥行きや左右、カードの大きさなど空間的手がかりを生かした外化記憶の配置を行うことによって、自分らしいポリシーに基づく外化記憶が構築可能であるという示唆を得た。

## 謝辞

<DIGA(DMR-E200H)>のマニュアルを素材として研究に使用することを許諾していただいた松下電器産業株式会社に感謝致します。

## 参考文献

[Ballay1994] Joseph M. Ballay, "Designing Workscape: an interdisciplinary experience", Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: celebrating interdependence, pp.10-15, 1994.  
[Bederson1994] Bederson, B.B., Hollan, J.D., "Pad++: A Zooming Graphical Interface for Exploring Alternate Interface Physics", ACM UIST '94, 1994.  
[Card1996] Card, S.K., Robertson, G.G., York, W., "The WebBook and the Web Forager: an information workspace for the World-Wide Web", Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: common ground, pp.111-117, 1996.

[Furnas1986] Furnas, G. W., "Generalized fisheye views", Human Factors in Computing Systems CHI '86 Conference Proceedings, pp.16-23, 1986.  
[Gemmell2002] Gemmell, J., Bell, G., Lueder, R., Drucker, S., and Wong, C., "MyLifeBits: Fulfilling the Memex Vision", ACM Multimedia '02, pp.235-238, 2002.  
[Lamping1995] Lamping, J., Rao, R., Pirolli, P., "A Focus+Context Technique Based on Hyperbolic Geometry for Visualizing Large Hierarchies", Proceedings of ACM CHI '95 Conference on Human Factors in Computing Systems, 1995.  
[Robertson1991] Robertson, G., Mackinlay, J.D., Card, S.K., "Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information", Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '91), pp.189-194, 1991.  
[Robertson1998] Robertson, G., Czerwinski, M., Larson, K., Robbins, D.C., Thiel, D., Dantzich, M.V., "Data mountain: using spatial memory for document management", Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '98), pp.153-162, 1998.  
[梅棹 1969] 梅棹忠夫, "知的生産の技術", 岩波書店, 1969.  
[岡田 2000] 岡田謙一, "協同作業による情報創出支援", 岩波講座マルチメディア情報学 9 情報の創出とデザイン (長尾真ほか編), 第 3 章, pp.115-164, 岩波書店, 2000.  
[川浦 1999] 川浦康至, "電子空間にみるコミュニケーションの賑わい", CMCC 研究会第 2 回シンポジウム論文集, pp.37-44, 1999.  
[川喜田 1970] 川喜田二郎, "続・発想法", 中央公論新社, 1970.  
[ギブソン 1985] J.J. ギブソン, "生態学的視覚論", サイエンス社, 1985.  
[久保田 2001] 久保田秀和, 西田豊明, "ユーザの過去発言を利用した複数エージェントによる創造的な対話の生成", 電子情報通信学会論文誌, vol. J84-D-I, No. 8, pp.1222-1230, 2001.  
[久保田 2002] 久保田秀和, 山下耕二, 福原知宏, 西田豊明, "POC caster: インターネットコミュニティのための会話表現を用いた情報提供エージェント", 人工知能学会論文誌, vol. 17, No. 3, pp.313-321, 2002.  
[久保田 2003] 久保田秀和, 黒橋禎夫, 西田豊明, "知識カードを用いた分身エージェント", 電子情報通信学会論文誌「ソフトウェアエージェントとその応用論文特集」, vol. J86-D-I, No. 8, pp.600-607, 2003.  
[久保田 2004] 久保田秀和, 西田豊明, "分身エージェントに媒介されたコンテンツマネジメントシステム", 人工知能学会全国大会(第 18 回)論文集, pp.2C2-07, 2004.  
[塩澤 1997] 塩澤秀和, 西山晴彦, 松下温, "「納豆ビュー」の対話的な情報視覚化における位置づけ", 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 11 - 024, pp.2331-2342, 1997.  
[野中 1996] 野中郁次郎, 竹内弘高, "知識創造企業", 東洋経済新報社, 1996.  
[平田 2001] 平田 高志, 村上 晴美, 西田豊明, "連想表現と分身エージェントを用いたコミュニティにおける知識共有支援", 人工知能学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp.225-233, 2001.  
[許 2004] 許宰源, 西田豊明, "相互適応的な知識外化手法を用いた知識編集支援", 人工知能学会全国大会(第 18 回)論文集, pp.2E1-05, 2004.  
[美崎 2004] 美崎薫, 河野恭之, "「記憶する住宅」~55 万枚のデジタルスキャン画像の常時スライドショー・ブラウジングによる過去記憶の甦りの実際", 情報処理学会 インタラクシオン 2004, pp.129-136, 2004.  
[山下 2001] 山下清美, 野島久雄, "思い出コミュニケーションのための電子ミニアルバム提案", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 論文集, pp.261-264, 2001.