

携帯空間：モバイル計算環境での共有 3 次元仮想空間システム

中尾 太郎[†] 小川 剛史^{††}
塚本 昌彦^{†††} 西尾 章治郎^{†††}

本論文では、モバイル計算環境から携帯電話で利用できる共有 3 次元仮想空間「携帯空間」を提案する。「携帯空間」は、いつでも、どこでも共有 3 次元仮想空間に手軽にアクセスできるため、共有 3 次元仮想空間へのアクセス機会が増加し、仮想空間を用いたインフォーマルコミュニケーション支援サービスの有効性を高めたり、現実空間と連携した仮想空間を用いたりするといった、モバイル計算環境での新しいアプリケーションサービスの提供を可能にする。筆者らは「携帯空間」の実現のために、携帯電話の技術的制約を考慮したシステム設計を行い、実装したプロトタイプの利用評価を行った。

KEITAI-Space: A Shared 3D Virtual Space Available on Mobile Computing Environment

TARO NAKAO,[†] TAKEFUMI OGAWA,^{††} MASAHIKO TSUKAMOTO^{†††}
and SHOJIRO NISHIO^{†††}

In this paper, we propose KEITAI-Space system which provides chances to use shared 3D virtual space in the mobile environment using a cellular phone. Allowing users to access shared 3D virtual space in anytime from anywhere, KEITAI-Space can enlarge the effectiveness of informal communication support service which uses shared virtual space and can create the novel service in the mobile environment linking the virtual space to the real space. We designed the system architecture considering the technical limits of cellular phone and implemented a prototype to evaluate KEITAI-Space.

1. はじめに

従来、共有 3 次元仮想空間は、地理的に分散した人々の間でのコミュニケーション支援や、協調作業、都市景観の評価に用いられてきた。一方、屋内、屋外、移動中などのさまざまなシーンや、外出先で電車やバスを待つ間といった不規則で短い時間に拘束されずに手軽にコンピューティングを可能にするモバイル計算環境が、近年の計算端末の小型軽量化によって注目されつつある。

このモバイル計算環境において共有 3 次元仮想空間

を利用できれば、共有 3 次元仮想空間へのアクセス機会の増加によるコミュニケーション支援サービスの有効性の向上や、現実空間と連携した仮想空間を用いるといった、モバイル計算環境での新しいアプリケーションサービスの発生が期待できる。

ここで、単なる音声コミュニケーションツールから、さまざまな多機能化によって、最も身近なモバイル計算端末として爆発的に普及しつつある携帯電話に注目する。高い普及率と、常時携帯しているという性質を持つ携帯電話の特徴は、筆者らが想定する共有 3 次元仮想空間のモバイル環境における利用シーンに合致する。

ただ、従来の共有 3 次元仮想空間はパーソナルコンピュータ(PC)やワークステーション(WS)といった計算環境(固定的計算環境と呼ぶ)での利用を前提としており、携帯電話が持つ技術的制約の下で、従来のような共有 3 次元仮想空間システムを実現することは難しい。

本論文では、携帯電話の技術的制約や特徴を考慮した共有 3 次元仮想空間システムを実現する。このシ

[†] 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻
Department of Information Systems Engineering,
Graduate School of Engineering, Osaka University

^{††} 大阪大学サイバーメディアセンター情報メディア教育研究部門
Infomedia Education Division, Cybermedia Center,
Osaka University

^{†††} 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻
Department of Multimedia Engineering, Graduate
School of Information Science and Technology, Osaka
University

システムを「携帯空間」と呼ぶ。モバイル計算環境から共有3次元仮想空間へのアクセスを可能にし、地理的に分散した人々の間のコミュニケーションを支援したり、現実空間と連携した仮想空間アプリケーションを実現したりと、モバイル計算環境における新しいサービスを提供できる。本論文では「携帯空間」の設計と、Java 対応携帯電話上に実装した「携帯空間」のプロトタイプについて述べる。また、実装したプロトタイプの利用実験を行い、システムの評価を行った。現在、筆者らは評価結果を検討してシステムの再設計、再実装を行っている。

以下、2章で携帯電話上で共有3次元仮想空間を利用するにあたって考慮すべき諸事項についてまとめ、3章で「携帯空間」の設計について説明する。4章では実装したプロトタイプについて述べ、5章で利用実験に基づくシステムの性能評価について述べる。最後に6章で本論文をまとめる。

2. 携帯電話上での共有3次元仮想空間

モバイル計算環境から共有3次元仮想空間を利用する場面として以下のような場면을想定している。

2.1 仮想空間を用いたコミュニケーション支援

オフィスに仕事仲間が、家に家族が集まるように、コミュニティの構成員が空間を共有すると、他の人にすれ違う際に声をかけ、雑談をするなどのインフォーマルコミュニケーションが発生する^{3),4)}。このインフォーマルコミュニケーションが地理的に分散した人々の間で行えるように、3次元仮想空間を共有の場とし、偶発的な出会いを支援する研究がこれまでに多くなされてきている^{1),5),11),16)}。

一般に、挨拶や雑談などの偶発的なコミュニケーションの発生は、コミュニティの構成員が廊下やラウンジといった共有空間を行き交う機会の多さに依存する¹⁰⁾。モバイル計算環境から共有3次元仮想空間を利用できれば、利用者はいつでもどこでも手軽に共有空間へアクセスできる。こうして共有3次元仮想空間にアクセスする機会が増えれば、利用者同士が共有空間上で偶発的に出会う機会は増え、共有空間上でのインフォーマルコミュニケーションを支援できる。

2.2 仮想空間を用いた位置依存サービス

現実空間に基づいて作成されたフォトリアリスティックな3次元仮想空間は、不案内な場所の空間構造を理解するうえで有効である。IBR (Image Based Rendering)^{3),6)}など、写真を用いたリアルな3次元仮想空間では、もとなる空間の雰囲気といった、数値化が困難な情報の伝達も可能であり、デジタルシティ京

都プロジェクト⁷⁾の3D京都をはじめ、都市景観の評価などに用いられている⁸⁾。さらに現実空間に基づいた3次元仮想空間上にアノテーションやハイパーリンクを付加すれば、その場所と関連した情報の提供に有用である¹⁵⁾。

このような現実空間に基づく仮想空間を、携帯性のきわめて高い、小型軽量の携帯電話を用いてモバイル計算環境からも利用すれば、周囲の空間構造を現実空間の建物と照らし合わせながら把握したり、大きな駅などの広大な空間で「いま私はこの場所にいるが、あなたはどこにいるのか。そしてどの場所で待ち合わせようか」といった2次元の地図や言葉だけでは説明の困難な問題を、仮想空間を用いてその場で効果的に解決したりできる。また、この仮想空間に位置に依存した情報を付加して提供すれば、利用者は携帯電話に表示された仮想空間を用いて自分の近辺を確認することで、「いまいる現実空間」に関する情報をより現実世界と密着したかたちで発見できる。

2.3 要求事項と制約事項

携帯電話で2.1節や2.2節の利用形態を実現する場合、要求事項としてあげられるのは以下の4点である。携帯電話の持つ制約事項とともに以下に示す。なお、携帯電話として想定しているのはJavaプログラムを実行できるものである。

現実空間ベースの3次元仮想空間 多数の3次元モデルをレンダリングするGBR (Geometry Based Rendering) や、テクスチャマッピングを多用するIBRのアプローチは、高負荷な計算処理を要求するので、低速なCPUと貧弱な記憶容量のために単純な3次元モデルのレンダリングがかるうじて可能な程度の現在の携帯電話ではその実現は困難である。たとえ技術的進歩によってCPUが高速化し、記憶容量が増えたとしても、これらの高負荷な計算処理は消費電力の増大を招くので、携帯電話には望ましくない。また、端末の画面の大きさには物理的な限界があるため、いくら画面が高精細化しても、多くの物体やユーザを一度に表示することは現実的ではない。もとなる現実空間の雰囲気表現しながらも、携帯電話上で実行可能な3次元仮想空間の表現手法が求められる。他のユーザの動きや発言をリアルタイムで認知 他のユーザの情報を通信によって取得する必要があるが、携帯電話ではサーバに対する要求応答型の通信しかできない。また、転送率を保証できない低速のパケット交換網や、現在の従量制の課金体制を考慮すれば、始終通信を行うことも現実的では

ない。したがって、効果的に他のユーザの情報と同期をとる通信方式が必要である。

仮想空間への情報の付加 他のユーザの情報を取得するだけでなく、自らが携帯電話を用いて他のユーザに対して発言をするなど、仮想空間内の他の利用者に対して積極的に情報を発信することは、仮想空間上でインタラクティブなコミュニケーションを行うために重要である。また、仮想空間に伝言を残したり、仮想空間を使った情報提供を実現したりすることも必要である。

周囲の仮想空間の状況把握 多くの物体やユーザを一度に表示できないのであれば、表示されていない空間がおおむねどのようなになっているのかを知る手段が求められる。ただし、携帯電話上で実行可能なプログラムサイズは、NTTドコモ社の 503i シリーズで 10KB、504i シリーズや FOMA シリーズで 30KB までと、著しい制約があるため、単純に多機能化するのではなく、必要最小限の機能追加でこの要求事項を実現するべきである。

3. 「携帯空間」の設計

ここでは、2章での検討をふまえ、携帯電話からの共有 3次元仮想空間サービスの利用を実現するために設計した「携帯空間」について述べる。

3.1 システム構成

「携帯空間」のシステム構成を図 1 に示す。携帯電話と固定的計算環境の端末にまったく同じ仮想空間サービスを行うことはできないので、それぞれに異なるサーバプログラム(仮想空間マネージャと呼ぶ)を用意する。携帯電話上の Java プログラムは、WWW サーバ上の CGI プログラムである携帯電話用の仮想空間マネージャと HTTP で通信する。携帯電話用、固定的計算環境用の仮想空間マネージャが、仮想空間の空間データや利用者データを格納した仮想空間データベースを介して協調することで、利用者は携帯電話からも固定的計算環境からも同一の仮想空間をシステム透過的に利用できる。

なお、固定的計算環境側のシステム構成にはデータベースに格納するデータ形式以外、特に制約事項はない。たとえば図 1 では通信形態をサーバ・クライアント型としているが、これは P2P 型でもシステムの構築は可能である。

3.2 3次元仮想空間の表現方法

擬似 3次元手法^{13),17)}は、離散的な位置と方向の視点から得た静止画を背景画像として変形させることなく使用し、その背景画像を切り替えることで空間の広

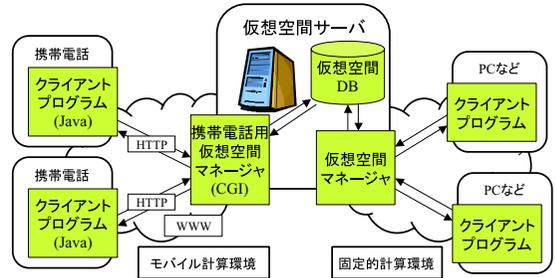


図 1 「携帯空間」のシステム構成

Fig. 1 The overview of the KEITAI-Space.

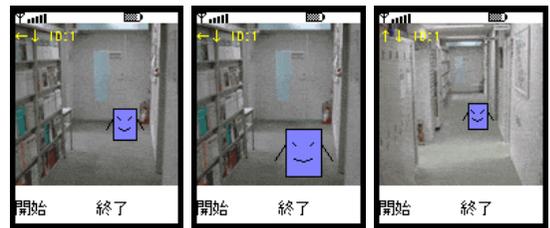


図 2 擬似 3次元手法による携帯電話上の仮想空間

Fig. 2 Pseudo-3D virtual space on cellular phone.

がりやを演出する表現手法である。背景画像にはアバタを重ね合わせて表示し、利用者の操作に応じてその大きさと位置を変えることで静止画に奥行き感を与える。図 2 は、擬似 3次元手法によって携帯電話上に表現された仮想空間で、左の図から順にアバタが手前に向かって歩いている様子である。擬似 3次元手法の計算コストは非常に小さいので、狭い画面や低い計算能力といった制約の下でも、写真画像を用いて現実世界の雰囲気や伝えられる 3次元仮想空間を表現できる。

ただ、擬似 3次元手法で携帯電話上に 3次元仮想空間を表現する場合、携帯電話の技術的制約の下では、3次元モデルのアバタを用いるのはもちろん、画像のアバタを拡大縮小したり差し替えたりして奥行き感やアバタの向きを表現することは、プログラムサイズの問題と計算能力の問題のために困難である。

筆者らは、前章で述べたような利用形態では、アバタが現実的な人型であることよりも、フォトリリスティックな 3次元仮想空間を実現する方がより重要であると考えている。そこで「携帯空間」では携帯電話上のアバタとして、漫画化したキャラクタを幾何図形で描く。矩形などの単純な図形として描かれた本体に、身振りを行うための手、表情を示すための目や口を線画で描いたものをアバタとして用いる。手や顔はアバタの視線方向を示す役割も果たす。図 3 に携帯電話上のアバタを示す。このアバタは幾何図形で描いているため拡大縮小が容易であるだけでなく、通常の人型の

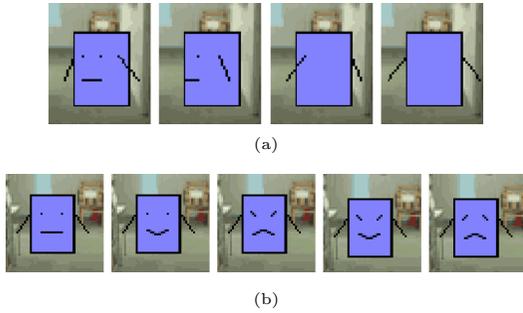


図3 携帯電話上の仮想空間におけるアバター

Fig. 3 An avatar in the virtual space on cellular phone.

アバターよりも表情を形成する顔部分を強調できるという利点がある。そのため、画面が小さく、細部が見えにくい携帯電話では、視線方向の表現(図3(a))や、表情による感情状態の伝達(図3(b))を実現するのに有利である。

なお、技術的な制約のない固定的計算環境のクライアントに対してはこの限りではなく、モバイル計算環境に提供する3次元仮想空間と空間データを共有できれば、3次元仮想空間の表現方法は問わない。

3.3 通信方式

「携帯空間」では、参加者間で位置情報や発言内容といったデータの同期をとるために、サーバ・クライアント間で通信を行わなければならない。携帯電話は要求応答型の通信しか行えないので、同期通信は、サーバへ自分の更新情報を送信し、その返信で他のクライアントの情報を取得することで擬似的に行う。その際、現在のパケット従量制という料金体制や、パケット交換網の遅延、転送率の保証がないといったことを考慮して、頻繁すぎる通信やトラフィックの大きな通信を避ける。

「携帯空間」の仮想空間は、擬似3次元手法の採用によって、背景画像を単位とする小さな部分空間に分割されている。そのため、少し遠くにいる参加者の移動情報など、利用者にとって必要性の低い情報をフィルタして、多くの参加者から生じる頻繁な移動や発言による通信頻度の増大やトラフィックの増加を避けられる。図4にその概略を示す。参加者が少ない部分空間Bの利用者は、部分空間Aの利用者よりも通信頻度や受信する情報量を抑えられる。部分空間Bの利用者は、本来連続的であって把握できるはずの部分空間Aの様子に分からなくなるが、利用者は文献12)の情報伝達の原理に基づき、部分空間Aに注目する情報があるときは部分空間Aに移動して情報源に近づき、そうでない場合は部分空間Bにとどまって情

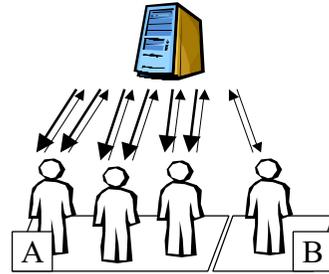


図4 部分空間による同期通信の調節

Fig. 4 The data synchronization using the partial space model.

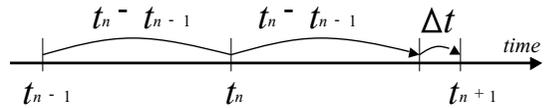


図5 クライアントからサーバへの通信間隔の動的な調整

Fig. 5 The dynamic adjustment of the communication interval from client to server.

報源である部分空間Aから距離をおき、能動的に受け取る情報の取捨選択や通信量の調整を行える。

このように空間モデルにおける通信頻度や通信する情報量の低減を実現しているが、前に述べたとおり「携帯空間」では、要求応答型の通信で同期を実現するため、自分の情報に変更がなくても通信を定期的に行わせる必要がある。そのため、情報更新の頻度が小さい場合は、他の参加者が情報を更新しておらず、通信にまったく新しい情報が含まれないといった無駄な同期通信が生じることがある。

そこでクライアント端末に同じく携帯電話を用いて協調作業支援環境を実現している文献14)では、携帯電話からサーバに情報を送信するタイミングを、他のクライアントが更新した情報をサーバに通知する頻度に従って動的に調整することで、他の参加者が活発に情報を更新する局面では通信頻度を上げて情報共有の効率を高め、そうでないときは通信頻度を下げて通信回数を少なくして無駄な通信を減らし、通信の頻度やトラフィックを削減している。

「携帯空間」でもこの方法に基づく通信方式を利用する。図5にその概略を示す。次回の通信推奨時刻 t_{n+1} は、通信時刻 t_{n-1} から通信時刻 t_n までの間にサーバに伝えられた情報更新の数によって調整(Δt)され、時刻 t_n の通信時にサーバから通知される。情報更新の頻度が低いときは、図5のように $\Delta t > 0$ として更新間隔を長くする。頻繁な情報更新が行われている場合は逆に $\Delta t < 0$ として通信の頻度を上げる。ただし、通信間隔には下限を設け、通信の頻度が高く

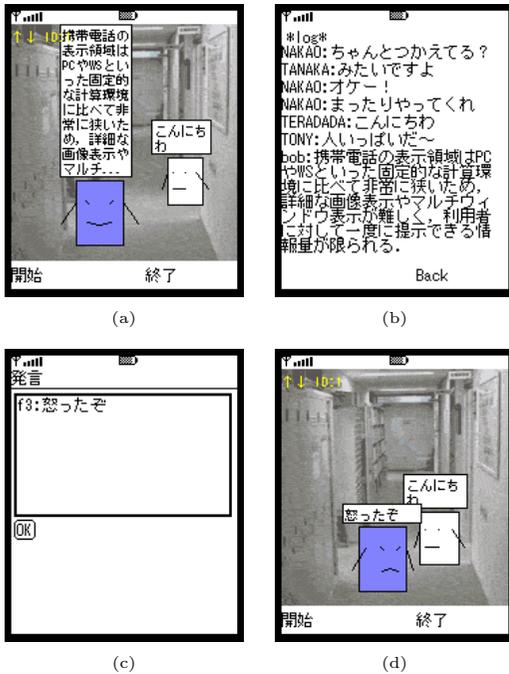


図 6 携帯電話上での発言
Fig. 6 Chat communication on cellular phone.

なりすぎないようにする。

なお「携帯空間」においては、アバタの位置や向いている方向が多少遅れて反映されてもコミュニケーションへの影響は小さいが、会話の遅れはコミュニケーションへの影響が大きいと考えられるので、利用者の発言が発生した際は、通信推奨時刻 t_{n+1} を待たずに情報の送受信を行い、積極的に情報更新をサーバに伝えられるようにする。

3.4 コミュニケーション支援機能

携帯電話の表示領域は PC や WS といった固定的計算環境に比べて非常に狭いため、詳細な画像表示やマルチウィンドウ表示が難しく、利用者に対して一度に提示できる情報量が限られる。「携帯空間」では、参加者の発言は図 6(a) のように、仮想空間上に重ねて表示する。吹き出し形式を用いると、以前の発言や、画面上に表示しきれないような長い発言を表現できないが、利用者は必要に応じて会話のログを表示する別画面(図 6(b))に切り替え、会話の全文を見る。

他の参加者の感情状態などを分かりやすく示すアバタの表情は、発言中の「(笑)」、「(泣)」といった文字列や「(^_^)」、「:-)」といったフェイスマークから自動的に変更する。携帯電話から利用者が直接指定して表情を変化させる場合は、コマンドを用いる。図 6(c) の例では、表情を変化させる“f”コマンドで怒った顔

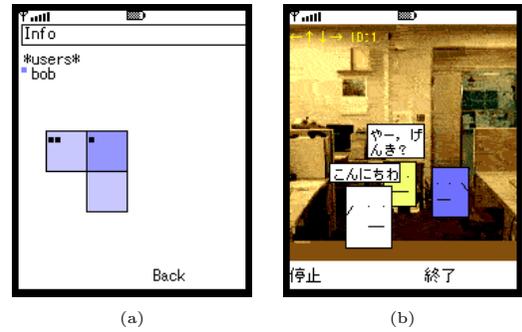


図 7 携帯電話上での近隣情報の提供
Fig. 7 Providing adjacent information on cellular phone.

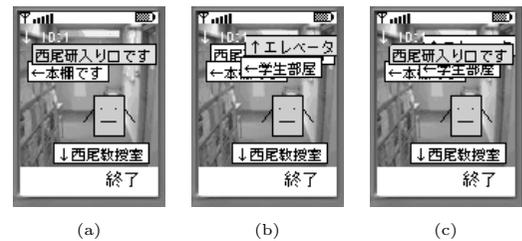


図 8 仮想空間へのテキスト情報の付加
Fig. 8 Adding text information to virtual space.

を示すパラメータ“3”を指定している。この画面表示例を図 6(d) に示す。

参加者の分布状況といった周辺情報は、必要に応じて情報を取得する方式で提供する。図 7 にその様子を示す。周辺情報は、他の参加者を探して仮想空間内をウォークスルーする際に用いることを想定し、図 7(a) に示す形式で、隣接する部分空間と、その部分空間を利用している参加者の数を提示する。この場合、現在利用している部分空間の手前と左に隣接する部分空間が存在し、左の部分空間には現在 2 人の参加者がいることが分かる。図 7(b) は左の部分空間に移動したところである。

3.5 仮想空間への情報付加

現実空間に基づく仮想空間上でテキストによる情報提供を行い、道案内アプリケーションや、待合せ場所を相談して決めるといった利用形態を可能にするために、仮想空間上の適切な位置にテキスト形式の情報を付加できるようにする。図 8 にいくつかのテキスト情報が付加された仮想空間を示す。図 8(b) のように、多くの情報が表示され、重なって隠れてしまった情報は、キー操作で表示するテキスト量を減らしたり、図 8(c) のように重なり具合を切り替えたりして閲覧できるようにする。

4. プロトタイプ

3章の設計に基づき「携帯空間」のプロトタイプを作成した。

携帯電話には NTT ドコモ社の携帯電話 FOMA P2101V と FOMA N2002, そして SO504i を用い, それぞれに Java2ME for DoJa APIs で記述したプログラムを搭載した。通信間隔の下限はシステムやネットワークの負荷を考慮して 2 秒とした。

携帯電話上の Java プログラムは, ログイン情報を携帯電話用の仮想空間マネージャに HTTP で送信し, その返信として利用する部分空間のデータとその部分空間の他のユーザ情報を得る。さらに部分空間の背景画像を HTTP でダウンロードして, それらから仮想空間を構成する。

ユーザの位置情報や発言は HTTP によって仮想空間マネージャに送信され, その返信として他のユーザの最新情報を得る。仮想空間マネージャはユーザからの位置情報や発言を, その到着時間とともにサーバ上のデータベースに記録しており, 携帯電話クライアントからのアクセスに対してそれらの情報を通知する。

携帯電話のユーザメモリ領域は, ダウンロードした背景画像のキャッシュにのみ用いている。現在の実装では携帯電話端末に背景画像を 1 枚キャッシュするようにしている。背景画像は, リアリティを残しながらできるかぎり減色, 圧縮した画像を, 携帯電話の表示領域サイズごとに用意している。用意した背景画像のファイルサイズは 2.5KB から 5.2KB である。

固定的計算環境のクライアントは, 仮想空間を擬似 3 次元手法によって表現し, サーバと IRC (Internet Relay Chat) をトランスポートに用いて通信する Windows アプリケーションとして Visual Basic を用いて実装した。図 9 は, 図 6 と同じ仮想空間を固定的計算環境クライアントを用いて利用しているところである。



図 9 PC 用クライアントのスクリーンショット

Fig. 9 A screenshot of a client for PC.

5. 評価と議論

実装したプロトタイプを用いて性能評価と利用評価を行った。以下にその結果を示し「携帯空間」について議論する。

5.1 性能評価

携帯電話に実装したクライアントプログラムの性能評価として「携帯空間」の以下の 2 点の操作について, かかった時間を端末ごとに実測した。

部分空間切替え 仮想空間内を移動して 10 回部分空間を切替える際の所要時間を計測し, 切替え操作 1 回あたりの所要時間を得る。各部分空間内の移動はできるかぎり素早く行い, 主に部分空間の切替え操作だけを計測できるようにした。実装したクライアントプログラムは, 背景画像を 1 枚だけキャッシュする機能を搭載しているため, 仮想空間を移動する際, キャッシュを最大限に活用する場合 (背景画像のダウンロードは 5 回発生) と, 毎回背景画像をダウンロードする場合で性能計測を行った。1 回の部分空間切替え操作では, 画像のダウンロード以外にサーバと携帯電話の間に 1 往復の要求応答通信が発生する。

会話 J2ME Wireless エミュレータのクライアントと実機の携帯電話クライアントの間で会話を行う。相手の発言を見てから発言を行う動作を互いに繰り返す。携帯電話側の 1 回目の発言がサーバに届いてから携帯電話側の 5 回目の発言がサーバに届くまでの時間を計測した。発言する際の入力文字列は「こんにちは」と「さようなら」の繰返しとした。これらの文字列の入力にはそれぞれ 6 秒程度を要する。この操作では, 携帯電話とサーバの間に 16 往復程度の要求応答通信が発生する。

電波の安定した状態でそれぞれの操作を 4 回行い, 計測結果の平均値をとったものを表 1 に示す。

1 回の部分空間の切替えそのものにかかる時間は, 部分空間内の移動にかかっている時間 (1 秒程度) を考慮すれば, どの端末でもキャッシュが活用された場合で 3 秒程度, キャッシュが無効であった場合でも 5 秒程度であり, 実用上, 速度面での問題はなかった。

会話操作では, 素早く会話を行うには滑らかさに欠けるものの, 通常の文字を使ったチャット程度に会話成立していた印象である。参考として, IRC を用いてキーボード入力に熟練した 2 人が同様の会話操作を行った場合の所要時間は 20 秒程度であった。会話を滑らかに行えるように通信間隔の下限を 2 秒よりも小さくするテストも行ったが, クライアントの動作が不

表 1 「携帯空間」の携帯電話端末の性能
Table 1 The performance of the cellular client of the KEITAI-Space.

	FOMA P2101V	FOMA N2002	SO504i
背景画像サイズ	176 × 176	120 × 120	128 × 128
部分空間切り替え (キャッシュ有効)	3.60 秒	3.45 秒	3.40 秒
部分空間切り替え (キャッシュ無効)	6.75 秒	5.73 秒	6.00 秒
会話	100.5 秒	116.3 秒	92.3 秒

安定になった。利用者がメッセージを入力するために必要な時間が 60 秒程度と、会話時間の多くを占めていることを考慮すれば、会話のリアルタイム性は、通信頻度の向上よりもむしろ、POB_{ox}⁹⁾や T9 のような発言の入力インタフェースの工夫が必要であると考える。

5.2 利用評価

現在、大阪大学大学院工学研究科西尾研究室において、研究室の構成員 10 人に、普段の研究室での研究活動においては固定的計算環境から共有仮想空間を利用してもらい、外出時に携帯電話から共有仮想空間を使ってもらう形式で利用評価を行っている。評価実験では、インフォーマルコミュニケーションの形成を観察するために、被験者に対して共有仮想空間にアクセスする動機付け（おしゃべりするため、意見交換するためなど）は特に行わず、自由に使ってもらった。

アクセス形態：現在「携帯空間」では、固定的計算環境、モバイル計算環境ともに、利用者が仮想空間クライアントプログラムを実行して共有仮想空間にアクセスする形態をとっている。そのため、アクセスした共有仮想空間ではインフォーマルコミュニケーションは偶発的に発生しうるものの、その共有仮想空間へは能動的にアクセスしなければならないため、インフォーマル性が損なわれているという指摘があった。

コミュニティの構成員が共有仮想空間をオフィスや家の代替となるコミュニティ共有の場として用いるためには、仮想空間へのアクセス手段を増やして、偶発的な出会いの機会を増やすことに加えて、共有仮想空間へのアクセスに煩わしさを感じないようにする必要があると考えられる。たとえばオフィスや家においては「携帯空間」を PC や WS のデスクトップ環境に組み込むことで、PC や WS の利用と共有仮想空間へのアクセスを結びつけたり、モバイル計算環境では、携帯電話の待ち受け型アプリケーションを利用して、携帯電話を持ち歩くことと共有仮想空間にアクセスすることを統合するといった改良が必要だと考えられる。その場合、モバイル計算環境からの通信には、3.3 節

の方式より通信頻度を落とし、より長時間のインターバルをとっても、サーバ上の情報更新にあわせて効果的に通信を行える方式や、仮想空間上での変化を利用者に能動的に通知する仕組みを開発する必要がある。

仮想空間利用の特徴：固定的計算環境からのアクセスでは、利用者が長時間にわたって 1 つの部分空間にとどまり続けるパターンと、短時間のうちに多くの部分空間を移動するパターンの 2 つの傾向が明確に見られた。一方、携帯電話によるモバイル計算環境からのアクセスでは、短時間のうちに多くの部分空間を移動するパターンのみが観察できた。

利用評価実験では利用者に仮想空間の使用目的を明示しなかったが、携帯電話から仮想空間を利用した場合でも、1 つの部分空間に長く立ち止まったり、ゆっくり会話することは十分可能であり、利用者がその使い方を完全に自由に選べた点を考慮すれば、モバイル計算環境からの利用者が、仮想空間を他の人を捜して動き回り、仮想空間で利用者同士が出会う機会を増やす利用形態をとったことは、モバイル計算環境からのアクセスを考慮して共有仮想空間をデザインするうえで注目に値する。

モバイル計算環境からのアクセスによって活発さを増す仮想空間上でのインフォーマルコミュニケーションを活かし、たとえばそこからフォーマルコミュニケーションへ自然に移行させるといったコミュニケーションの支援ができるようにする枠組みを開発することは今後の課題である。

仮想空間の視野：擬似 3 次元手法による共有仮想空間は、一度に表現する部分空間が小さいため、他の参加者を発見しにくくなる、空間全体の様子が把握しにくくなるなどの点で不利であるという指摘があった。

一般的にラウンジや広場などの比較的広い空間は、多くの参加者が集まって話し相手を探したり会話グループを形成したりするのに有利である。しかし、モバイル計算環境からの利用者は、それら多くの参加者を視界におさめたり、その発言を把握しきれないだけでなく、利用者の集中がもたらす情報の氾濫に巻き込まれてしまう。このように、一度に表現する部分空間の大小は、モバイル計算環境においてはトレードオフ

の関係にある。

今後は、小さな部分空間によって利用者に提示する情報量を抑えつつ、仮想空間を共有する他の人たちの様子を、図7に示した近隣空間の情報提供機能を充実させることでよりの確に把握できるようにしたり、文献12)の空間のつながりを考慮した提示手法を「携帯空間」システムに導入したりするなどして、制約事項と要求事項のよりよいバランスを実験によって模索していくことを考えている。

利用評価においては、部分空間が小さく区切られることによって、参加者が利用する部分空間を次々に変えるようになり、他の参加者とのコミュニケーションを試みる機会が多くなって話題ごとのグループ形成が進むケースが観察されるなど、コミュニケーションが副次的に促進されるケースも見られたことを記しておく。

視点変更：自由に視点移動ができないことに関する意見も聞かれた。

擬似3次元手法では、1つの部分空間に対して複数の視点からの画像を用意しておき、利用者の操作に従って背景画像を切り替えることで、ある程度の視点変更は可能であるが、携帯電話では視点変更のたびに背景画像をダウンロードしなければならず、その際のトラフィックの増大が無視できないため、この方法をとることができない。現在の携帯電話の技術的制約の下では、空間表現の写実性と視点変更の自由度は、トレードオフの関係にあるといえる。

6. おわりに

本論文では、携帯電話を用いてモバイル計算環境から共有3次元仮想空間を利用できる「携帯空間」について述べた。「携帯空間」の実現にあたっては、携帯電話の技術的制約を考慮したシステム設計を行った。また、本論文では「携帯空間」のプロトタイプを運用して得られた知見を紹介した。

「携帯空間」を用いることで、いつでも、どこでも手軽に共有3次元仮想空間にアクセスできるようになる。共有3次元仮想空間へのアクセス機会が増えるため、共有3次元仮想空間を用いたコミュニケーション支援サービスでは、偶発的な出会いの増加によってサービスの有効性が高まる。また、どこからでも仮想空間にアクセスできるので、現実空間と連携した仮想空間を用いるといった、モバイル計算環境での新しいアプリケーションサービスも可能となる。

現在筆者らは「携帯空間」によるインフォーマルコミュニケーションがコミュニティの構成員の人間関係

に与える影響を検証する実験、評価を行っている。

また、GPSやジャイロなどの各種センサによって、実空間における携帯電話の位置や方角を取得できる携帯電話端末を活用して、現実空間と密接に連携した仮想空間アプリケーションを構築したり、カメラ機能付きの携帯電話端末で撮影した画像から、その場で擬似3次元手法の背景画像として仮想空間を構成したりして、パズル方式で広大で多様な仮想空間を効率良く作成するなど、携帯電話の各種機能を取りいれて、より多様なモバイル計算環境での仮想空間アプリケーションを実現することも今後の課題としてあげられる。

謝辞 末筆ながら、本論文を執筆するにあたってご協力をいただいた西尾研究室の諸氏に感謝する。なお、本研究の一部は、文部科学省振興調整費「モバイル環境向P2P型情報共有基盤の確立」ならびに、文部科学省特定研究領域(C)「Grid技術を応用した新しい研究手法とデータ管理技術の研究」(プロジェクト番号：13224059)によっている。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Anderson, D.B., et al.: Building Multi-User Interactive Multimedia Environments at MERL, *IEEE MultiMedia*, Vol.2, No.4, pp.77-82 (1995).
- 2) Debevec, E.P., et al.: Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach, *Proc. SIGGRAPH'96*, pp.11-20 (1996).
- 3) Dourish, P. and Bly, S.: Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group, *Proc. CHI'92*, pp.541-548 (1992).
- 4) Fish, R.S., et al.: The Video Window System in Informal Communications, *Proc. ACM CSCW'90*, pp.1-12 (1990).
- 5) Hagsand, O.: DIVE: A Platform for Multi User Virtual Environments, *IEEE Multimedia*, Vol.3, No.1, pp.394-400 (1996).
- 6) Horry, Y., et al.: Tour Into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image, *Proc. SIGGRAPH'97*, pp.225-232, ACM (1997).
- 7) Ishida, T., et al.: Digital City Kyoto: Towards A Social Information Infrastructure, *Cooperative Information Agents III*, LNCS Vol.1652, pp.23-35, Springer-Verlag (1999).
- 8) 上善ほか：人のための環境設計，日本VR学会研究報告，Vol.4, No.3, pp.45-50 (2000).
- 9) Masui, T.: POBox: An Efficient Text Input Method for Handheld and Ubiquitous Computers, *Proc. HUC'99*, pp.289-300 (1999).

- 10) 松浦ほか：VENUS: Interest Awareness を支援したインフォーマルコミュニケーション環境，情報処理学会論文誌，Vol.36, No.6, pp.1332-1341 (1995).
- 11) Nakanishi, H., et al.: FreeWalk: Supporting Casual Meetings in a Network, *Proc. ACM CSCW'96*, pp.308-314 (1996).
- 12) 小川ほか：シーンのつながりを考慮した WWW 上でのコミュニケーション支援システム，*Proc. 日本ソフトウェア科学会 WISS'99*, pp.77-82, 近代科学社 (1999).
- 13) Ogawa, T. and Tsukamoto, M.: Tools for Constructing Pseudo-3D Space on the WWW Using Images, *New Generation Computing*, Vol.18, No.4, pp.391-407, Ohmsha, Ltd. and Springer-Verlag (2000).
- 14) 太田ほか：Java 搭載携帯電話における同期式共有ホワイトボード，情報処理学会第 64 回全国大会，Vol.4, pp.437-440 (2002).
- 15) Sakane, T., et al.: The Extended Desktop System for Real World Computing using Camera Images, *Proc. SAINT 2001*, pp.195-204 (2001).
- 16) Sugawara, S., et al.: InterSpace: Networked Virtual World for Visual Communication, *IEICE Trans. Inf. Syst.*, Vol.E77D, No.12, pp.1334-1349 (1994).
- 17) Tsukamoto, M.: Image-based Pseudo-3D Visualization of Real Space on WWW, *Digital Cities: Technologies, Experiences, and Future Perspectives*, LNCS Vol.1765, pp.288-302, Springer-Verlag (2000).

(平成 14 年 7 月 8 日受付)

(平成 14 年 9 月 5 日採録)



中尾 太郎 (学生会員)

1999 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。2001 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。現在，同大学院工学研究科博士後期課程在籍。仮想空間，時空間データベースに興味を持つ。日本バーチャルリアリティ学会学生会員。



小川 剛史 (正会員)

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年より同大学サイバーメディアセンター助手となり，現在に至る。バーチャルリアリティ，グループウェアに興味を持つ。IEEE など 4 学会の会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年，シャープ(株)入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師を経て，1996 年同専攻助教授，2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授となり，現在に至る。工学博士。ウェアラブルコンピューティング，ユビキタスコンピューティングに興味を持つ。ACM，IEEE 等 8 学会の会員。



西尾章治郎 (正会員)

1975 年京都大学工学部数理工学科卒業。1980 年同大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。京都大学工学部助手，大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授，同大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て，2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり，現在に至る。2000 年より大阪大学サイバーセンター長を併任。この間，カナダ・ウォータールー大学，ビクトリア大学客員。データベース，知識ベース，分散システムの研究に従事。現在，ACM Trans. on Internet Technology, Data & Knowledge Engineering, Data Mining and Knowledge Discovery 等の論文誌編集委員。本学会フェロー含め ACM, IEEE 等 8 学会の会員。