

位置情報サービスとサイバースペースの融合

有川正俊

東京大学



1. はじめに

昨年2001年末、初めてGPSケータイが発売され、今年末にはその販売台数が200万台を超えると予想されている。ケータイに位置情報サービス(LBS; Location Based Service)が付くことにより、位置情報は本格的に一般の人々が利用できる段階に入ってくる。しかし、VRにおいて、位置情報とは一般にミリメートルのオーダーを要求されており、この観点から、2~100メートル程度の精度である現在のLBSを、VRに直接的に応用できるわけではない。LBSと、VRで用いる位置センサーとの違いとしては、精度の他に、前者は広域を一貫性を持ってサポートしているのに対し、後者は狭い空間だけをアドホックにサポートする。カーナビが成功した理由として、自動車は道路上だけを走り、また移動速度が速いので、位置情報の精度が悪くても十分に利用できた点がある。道路上だけを走るという制約を使って、GPSだけでは大きな誤差を含む自動車の軌跡データを道路のベクトルデータとマッチングすることにより、自動車の位置精度を向上させた。この技術をマップマッチングという。しかし、ヒューマンナビを考えた場合、人の移動は自由であり、また速度も遅いという理由から、自動車に対して道路を線幾何として抽象化できたのに対して、人に対しては歩道を線幾何ではなく面幾何として扱う必要が出てくる。位置情報の精度だけ考えると、現在のLBSは、屋外における拡張現実感の応用で利用できるまでの水準には達していない。しかし、十分な精度が無

い位置情報を使っても利用者が満足いくサービスをカーナビとして実現できたのと同様に、ヒューマンナビに関しても、様々なレベルでのソリューションが提案されて行くと考えられる。また、位置情報の精度も、今年5月に国土交通省国土地理院[1]の電子基準点リアルタイムデータ提供が開始されるようになったので、ケータイでも1センチメートル程度の精度でリアルタイム測位が実現できる日も遠くないかもしれない。もし、このようなセンチメートルの精度の位置情報が広域で利用できるようになると、いよいよ拡張現実感の応用が現実的になるだろう。

実際のサービスを考えると、コンテンツとしての位置情報だけでは役に立たず、背景、基軸あるいはベースとなる現実空間のモデル情報、つまり地図情報が必要である。現在は、経済的観点から、2次元空間データとしての地図情報が一般に整備されている。LBSと地図との関係は、ワープロで例えるとフロントエンドプロセッサと辞書の関係と言える。辞書が悪いワープロが使いものにならないのと同様に、地図情報が悪いとLBSも十分に使えるものにはならない。従来、地図情報は、土木工事や都市計画をはじめ多くの実应用到に耐えうる精度を保証する必要があり、政府や測量会社などの地図情報の専門的機関だけでトップダウン的に作成されてきたのが実状である。一方、インターネットの出現により、地理的な位置に依存せずに全世界的にネットワークを介して誰でも自由に情報を交換できるようになった。しかし、こ

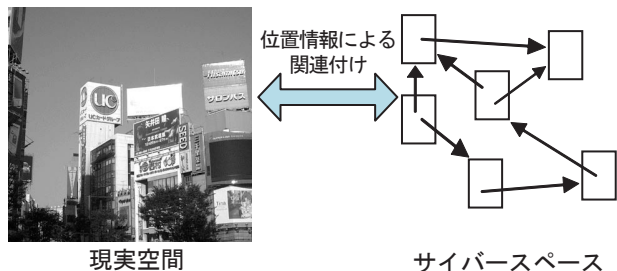


図1. 位置情報による現実空間とサイバースペースの相互参照

の情報空間が現実空間の位置とうまくリンクしていないことが問題であり、サイバー空間の本来の可能性を小さくしている。今後、この情報空間と現実空間の位置とをスムーズに、かつ自由にリンクさせるサービスを実現する(図1)ことにより、現実空間での我々の活動とインターネットに展開された情報空間とを自然に結び付けて、人間の日常生活を多角的に豊かにさせることができるだろう。また、LBSとインターネットとを組み合わせることにより、一般の人々が個々に空間情報を作成し、交換できる土壌ができつつあると言える。

本解説では、まずLBSの意義に関して論じ、次にLBSをインターネットに統合する基本的な枠組みである「位置によるインターネットのリソース管理」に関して説明を行う。最後に、地図以外でも様々なマルチメディア情報を位置情報をキーとして結び付ける「空間コンテンツ融合」の可能性に関して我々の研究を紹介する。

2. LBSの可能性

モバイルコンピューティング環境の充実に伴い、コンピュータは、現在の機能からさらに発展して、利用する場所に制限されることなく人々の活動を支援するツールとなるだろう。そして、自律した存在あるいはエージェントへと発展すると予想される。例えば、コンピュータの存在は、デジタル秘書、デジタル友人、デジタルペットなどの存在へと変化するだろう。コンピュータは、人と対話し、その人の意図や好みを理解する機能を持つことになる。また、その人自身の過去の行動履歴を記憶し、これを利用してアドバイスを人に与えたり、それに対するフィードバックを受けて、その人を深く理解する機能が実現されるだろう。

LBSは、このようなエージェントを実現するための最も重要な技術の1つとなる。エージェントは、主人の位置が分かっているので、その人の行動を支援する情報

を提供できる。例えば、今歩いている場所は過去に来たことがある場所なのか、ある人にとっての個人的ランドマークは何か、などをエージェントは理解し、現実空間での活動においてアドバイスを出すことが可能になるかもしれない。

PDAやパソコンへの現在の入力情報のほとんどは、人手をかけて入力するものである。例えば、現在のソフトウェアアプリケーションに対するデータや問い合わせの情報を作る場合、キーボード、マウス、ペン、あるいは音声などの物理的そして仮想的な入力デバイスを利用する。一方、LBSは、人が入力しなくても、現実世界の人の動きに関する空間情報を自動的に生成できる。LBSは、ヒューマンインタフェースの観点からは、キーボードとマウスに次ぐ、コンピュータにとって革新的な第3の入力デバイスになるとも予想できる。LBSは、現実空間に対応する地図の上に、人の動きの軌跡を線で描くような入力デバイスである。この人の軌跡の情報をを用いて、エージェントは様々な状況において人の活動を支援し、将来のモバイルコンピュータ環境において、LBSは、最も重要でかつ便利な入力デバイスとなるだろう。

LBSは、時計に例えることができる。時計の普及により、我々は「時間」情報を手に入れることができた。一方、LBSの普及により、我々は「空間」情報あるいは「位置」情報を手に入れることになる。今日の社会は、時間を基準に回っていると行って良いだろう。LBSが安定して安価で提供されるようになると、「空間」を基準にした様々な管理方法が社会の根幹に加わり、社会のシステムを変革するだろう。

LBSのもう1つの側面として、我々が自分自身の個人的な空間データを所有することが挙げられる。空間データのパーソナライゼーションを実現するためには、人間の認知の解明が重要となる。エージェントは、人間の脳の中の情報をシミュレーションすることにより、各種機能を実現することになる。エージェントは、人の行動の履歴データをその人の個人空間データとして記録する。個人空間データは、現実空間における我々の行動に関する記憶の外在化と解釈できる。

3. 位置情報によるインターネット上のリソース管理

Webは地理的位置に依存しない情報空間を実現し、今日、巨大な情報空間を人類が共有できるようになった。一方、Webの情報を場所に依存する形態で利用できるようにする要望がある。例えば、現在いる場所から近いお勧めのイタリアンレストランのホームページ情報が知り

たいとか、今から行く場所のWebカメラのリアルタイム映像を見てみたいなどといった、位置に依存した情報アクセスの手段は便利である。位置情報をキーとしてインターネット上のWebページにアクセスするサービス[2、3]はまだ研究レベルであり、インターネットの主要サービスの1つとして技術的に実現されてはいない。

VRML (Virtual Reality Modeling Language) の提案は、1994年に第1回のWWWに関する国際会議で、"Cyberspace"という題目の発表として行われた[4]。VRMLを発明したときの大きな目的の1つとしてデジタルアース[5]の構想があった。デジタルアースとは、地球上の様々な情報を3次元化して、さも地球儀を覗くがごとく、インターネット上の様々な情報にアクセスするという枠組みである。VRMLの提案論文では、(x,y,z)で表現される3次元の位置とIPアドレスとを対応付けるCyberspace Serverというサービスが提案された。このサービスは、唯一の3次元Web空間を地球上の位置と一意に結び付ける。現在、Webは普及したが、VRMLの提案論文にあったような、位置に基づいて必要なリソースにアクセスする枠組みは、まだ実現されていない。ただし、そのようなサービスを実現しようとする国際標準化の動きが全く無いわけではない。VRMLコンテンツの中で緯度経度を記述できる"GeoVRML"[6]の提案や、トップレベルのドメイン名として".geo"[7]を認めるようにして、"20e30n.geo"のように経度緯度情報をURLの一部に記述できるようにし、現実世界の場所を階層的なセル単位でアクセスする枠組みの提案が行われた。残念ながら、.geoの提案は、トップドメインを使って行うサービスとしては不適切であるという理由から、インターネットの標準化組織であるIETFでは認められなかった。このように、インターネット上のリソースへの、位置情報によるアクセスのためのインターネット標準については、決定的なものはまだ出てきていない。一方、インターネット上のリソースとは関係なく、地理情報の相互流通の重要性から、地理情報に関する様々な国際/国内標準化の開発が、デジュール標準およびデファクト標準として活発に行われている[8][9][10]。

LBSの普及により、位置情報を時間情報並みに一般市民が利用できるインフラが整ってくると考えられる。今後は、位置情報は、専門家だけでなく誰もが普通に使うようになり、時間情報が溢れているのと同様に、位置情報も我々の生活の中に溢れるようになり、様々な情報の共有や同期を行うために、それらの位置情報の多くはインターネット上を流通するだろう。例えば、ファミ

リーレストランは、そのホームページにおいて各店舗の位置情報をインターネットで公開するのが当たり前となるだろう。これらのインターネット上で公開された空間情報を、クローラ(crawler)やディレクトリサービスを使って集めたものが「未来の地図」あるいは「未来のサイバー地図」になると考えられる。つまり、地図は、従来のようなトップダウンで画一的なものではなく、ボトムアップで多様性を持つ位置情報あるいは空間情報を集約して作られる形態へとシフトして行くだろう。言い換えると、現在のWebと同様に、個人でも、地図とは無縁の組織でも、普通に自由に簡単に空間情報を公開させ流通させる枠組みになることが、インターネット上の今後の発展の自然な方向と考えることができる。この結果、空間データ(むしろ、空間コンテンツと言うべきだろう)は、新鮮性を保つことができる。一方で、現在のインターネットと同様に、様々な品質の空間コンテンツがカオスのように流通するようになるだろう。しかし、それらの情報は、社会というフィルタにより自然淘汰され、ボトムアップ型のサイバー地図は自律的に段階的に内容が充実して、現在の地図の一部に置き換わるものになるだろう。

位置情報は、現在の地図で扱っている地物、つまり、建物や自然地物のような静止物だけではなく、あらゆるもの(リソース;resource)を表現するようになる。例えば、人、自動車、ケータイ、パソコン、家電、洋服、鉛筆、靴、食料などあらゆるものに位置センサーならびにIPアドレスが付くようになるだろう。それらの位置情報を検索できるようになるだけではなく、逆に、位置情報から様々なリソースをコントロールできるようになるだろう。具体的には、IPv6で提供される無限に近いIPアドレスが自分の身の回りのもののほとんどに割り当てられるようになる。それらを検索するあるいはコントロールする場合、IPアドレスで直接そのリソースを指定するのは非人間的であり、また、小さなものにまで名前(ドメイン名)を付けるのも非現実的である。そこで、名前が無いものでも、位置で指定ができるのが自然である。バーコードでいろいろな指定ができるがごとく、位置でいろいろなリソースを指定できる枠組みが普及する可能性は大きい。位置によりIPアドレスが検索できる枠組みが確立すれば、例えば、どこに行っても、自分の前にあるテレビのコントロールは、自分のケータイから自動的に普遍的にコントロールできる。

位置とリソースを結び付けると、我々の生活活動を楽に高度にできる。この位置とリソースを結び付けるサー

ビスとは、DNS(Domain Name Service) がドメイン名から IP アドレスを検索するのと同様に、位置から IP アドレスを検索できる仕組みが、インターネット上で一般的なサービスとして確立することである。当然、個人情報において、位置情報は人の居場所を表現しているので、プライバシーや安全を確保する仕組みの確立は必須である。同時に、うまく隠蔽化が実現できれば、人の動きなどのリアルタイムで大量の情報を公開できる。これらを利用すれば、行政計画、マーケティングなど様々な分野で効率良い客観的で公平な空間意思決定を行うことが可能となる。

4. 空間コンテンツ融合

現実空間のデータベースを考えた場合、一般に地図を想定する。様々な位置情報を地図として扱うためには、(x,y) という座標値を持つ空間データを扱う。しかし、(x,y) という直接参照している位置情報を持たない空間情報もある。例えば、ビデオ情報や文書情報も、ある場所を映していたり、ある場所の記述が含まれており、間接参照的な空間情報である。我々は、非地図情報の空間コンテンツを位置情報と結び付ける仕組み及びその効果に関して研究を行ってきた。以下で、その紹介を行う。

ビデオ情報としては、インターネット上で公開している定点観測カメラからの映像を対象として、映像に位置情報を関係付ける仕組みの研究を行った(図2) [11]。この定点観測カメラは、Web ブラウザを通して遠隔からの操作が可能で、首を振ったり、拡大/縮小を行うことができる。このカメラは様々な方向を向くことができ、その操作に対応した映像の中に映っている建物などの地物に対して注釈などのグラフィックスを重ね合わせて表示するサービスを実現した。映像に重ねられたグラフィッ

クスに URL を関係付けることにより、ビデオに映っている地物をクリック可能にすることもできる。この重ね合わせは、現在の映像が現実空間のどの位置であるかを計算することにより実現できている。つまり、カメラの設置位置および各種のカメラパラメータから、映像に映っている領域、つまり位置情報を算出している。利用者は、地図インタフェース上でマウスなどである位置を指定する操作により、カメラがその位置を映すように回転させることができる。これは、位置情報をカメラパラメータ情報に変換することにより実現される。一方、重ね合わせ表示は、カメラパラメータを位置情報に変換することにより実現している。我々が実験で使用したカメラは、福岡市百道浜の福岡タワーに設置した3台のカメラで、それぞれ120度ずつずらした方向に向けて、3台で360度のパノラマの風景をカバーさせた。利用者は、それらの3台のカメラの中から1台を選ぶ必要はなく、自分が見たい場所を地図上で指定するだけで、後はシステムが自動的にその場所を映す最適なカメラを選択し、次にそのカメラに適切なカメラパラメータを設定して、意図する場所の映像を利用者に提供した。これは、位置情報を使って、複数の物理的カメラを1台の抽象化カメラとして実現させたものである。映像を位置情報により選択できたり、映像の中のコンテンツを URL に対応付けたりする仕組みは一般性が高く、今後、インターネットの主要サービスになる可能性は大きい。定点観測カメラからの映像を考えた場合、プライバシーが問題となるが、位置情報を使えば、プライバシーを保護することも可能である。例えば、ある方向にはカメラを向けないようにする。ある建物に対してある一定以上にはズームはできないという制約を、ある建物の空間解像度の制限値として、カメラ操作に加えることもできる。あるいは、ある建物を映す場合、リアルタイム映像の一部を静止画で置き換えて提供することも可能である。ビデオに情報を追加したものを拡張ビデオと呼ぶのに対し、ビデオの情報の一部を減らしたり、制限を付けるという意味から、このようなプライバシーの保護を考慮に入れたビデオを、我々は減少ビデオあるいは制約ビデオと呼んだ。

現実世界の文書の8割は、住所、地名、郵便番号、電話番号などの何らかの間接位置情報を含むと言われている。これらの間接位置情報は、変換表を利用して緯度経度という直接位置情報、つまり(x,y)に変換することが可能である。間接位置情報を直接位置情報へ変換する処理をジオコーディング(geocoding)と呼ぶ。(写真やビデオの中のピクセルを現実空間の位置に対応付ける処理



図2. 位置情報によるリアルタイム風景映像と地図データとの統合の例

「池ノ上駅前パン屋のゴマ餡パンはお勧めです。」



```
<spa name="池ノ上駅" type="point" p="139.676636E,
35.657230N" author="basho ver2" >池ノ上駅<spa>前
のパン屋のゴマ餡パンはお勧めです。」
```

図3. ジオコーディングを用いた半構造化の例

もジオコーディングと呼ぶ。) 図3は、1つの文章から、ジオコーディングにより間接位置情報を抽出し、その部分に位置情報を表現するための <spa> タグを差し込み、文章を半構造化した例である。もし、Web空間のすべての文書コンテンツのうちの8割をジオコーディングにより空間コンテンツに変換して、位置(x,y)をキーとしてそれらにアクセスできるようになるとすれば、Web空間全部が現実空間データベースとなり有意義である。この場合、むしろ空間コンテンツが大量になり過ぎて、大量の空間コンテンツの中から適切な情報をいかにフィルタするかが重要になってくるだろう。ジオコーディングは、Web文書だけでなく、我々がパソコンで個人的に保持しているワープロファイルなどの様々なデータにも適用できる。しかし、現実には、1件1件の家屋に相当する詳細な住所が正確に記載されておらず、記述が不正確であったり、省略されたりして、ジオコーディングが必ずしもうまく行かない場合も多い。たとえば、「世田谷区」という住所を含む文書にアクセスする場合、その量は膨大なものとなり、また、世田谷区という場所が広い範囲を表現しているので、どのようにして位置情報と関係付けて利用者に提供すべきであるかは困難な問題である。地名や住所は、位置のような点に対応させるようなものではなく、面積を持つ領域として対応付けるというアプローチもある。しかし、このような幾何情報の一般化を進めることにより、LBSが本来持つシンプルさが失われるかもしれないという危惧もある。ある地物を1つの領域として表現しても、縮尺を小さくするとそれは点になるだろう。このように、幾何情報の段階的抽象化は意味的な側面が多く、一般に困難な問題で、高度な意味的な LOD (Levels of Detail) の問題ともとらえることができる。また、人間が地名をどのようにとらえているかという空間認知にも関係し、個人個人の多様性を扱う必要が出てくる。もちろん、明示的に、地図の上の地

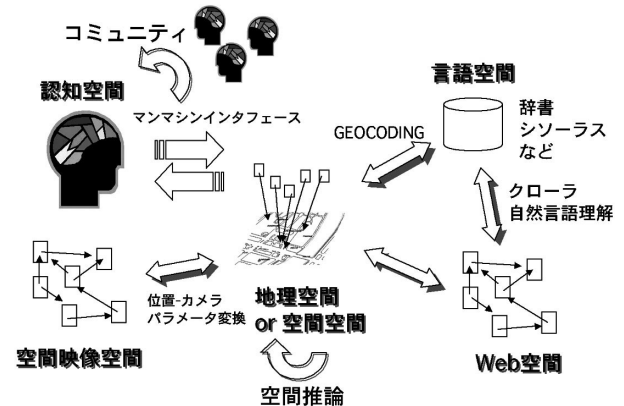


図4. 空間コンテンツ融合のイメージ図

物の幾何表現のように、直接参照的な(x,y)という位置情報を文書内で表現するのが理想的ではあるが、直接位置情報を文書の一部として取り扱うのは、文書の作り手にとっては一般に負担となる。現実の応用では、我々が日常会話で利用している住所や地名を位置情報として利用できるようにする意味は大きい。ここで扱うべき問題は、様々な異なる縮尺と精度の空間コンテンツをどのようにして融合して利用するかということである。この問題には、コンテキストを考慮して知的に選択するという解法、及び、利用者に知的で便利なツールを与えて、利用者が自ら知的に位置キーを用いて、大量の空間コンテンツの中から自由に取捨選択できるような利用者環境を実現するという2つのアプローチがあるだろう。

以上のように、位置をキーとして、多くのマルチメディアコンテンツにアクセスする枠組みが実現できる。このとき、カメラパラメータや自然言語などを変換して位置という絶対空間において、距離的に近い関係にあるコンテンツを関連付けてアクセスできる仕組みを提供することにより、閲覧者は、現実空間の位置を通して、様々なコンテンツに芽づる式にアクセスできる。位置情報が点を表すのに対して、一般的な空間情報としては、それよりも次元の高い線や面なども扱うこととなる。また、位置キーも一般化すると、「近い」という関係だけではなく、「隣」、「右側」、「交差」、「沿線」、「5分以内」などのような、より複雑な空間関係によって様々なコンテンツを関係付けることができる。このような空間情報をキーとして様々なコンテンツを串刺し的に関係付ける枠組みを「空間コンテンツ融合 (Spatial Content Fusion)」と呼んでいる (図4) [12]。

5. むすび

現在使われている地図のほとんどは、天空から真下を映した映像であり、縮尺も小さいものがほとんどで、実際には、かなり偏った表現方法になっているにも関わらず、多くの用途で便利に利用されている。これは、現在の地図という枠組みが、縮尺一定、投影方向も一定という制約を導入することにより、多目的に利用でき、同時に経済的にも現実的なソリューションを実現した良い例と言える。しかし、地図は紙メディアを対象に数百年前に発明された枠組みであり、現在のコンピュータとネットワーク技術を十分に利用したものではない。現実空間をありのまま高い精度でデジタル表現するのは、経済的にも物理的にも非現実的であるが、現在の地図とはまったく異なる何らかの革新的な制約の下で、現実空間のデジタル表現は今後ますます進むだろう。また、人間にとっては、3次元化された仮想都市空間が必ずしも分かりやすいとは考えにくい。2次元であるが故に本質的に分かりやすい、ということもあり、今後は、人間の空間認知能力を考慮した、新しいデジタル現実空間の体系化及び確立が期待される。そのときに重要視される考え方としては、単純に距離により詳細度を変更する LOD ではなく、空間認知を考慮した意味的 LOD の体系化、ならびに、絶対位置だけによる空間コンテンツの融合ではなく、ハイパーリンクで代表される相対関連も導入した非ユークリッド空間及び矛盾を許容する仮想空間の体系化が必要になってくるだろう。

謝辞

空間コンテンツ融合の体系化に関して共同研究をさせていただいており、本解説を書くにあたり有益なご助言をいただきました岡村耕二助教授（九州大学 情報基盤センター）及び相良毅助手（東京大学 空間情報科学研究センター）に感謝いたします。

参考文献&参考サイト

- [1] 国土交通省 国土地理院、<<http://www.gsi.go.jp>>
- [2] 小山 聡、平松 薫、山田幸一、" デジタルシティ京都 - 市民のための公共情報空間の構築をめざして、" bit、Vol.33 No.4、pp.8-12、2001
- [3] モーバイルインフォサーチ、<<http://www.kokono.net/>>
- [4] Mark Pesce, Peter Kennard, Anthony Parisi, "Cyberspace," the 1st Int'l Conference on the World Wide Web, 1994.
- [5] Al Gore, The Digital Earth: Understanding our planet in

the 21st Century, the California Science Center, 1998,

<<http://www.opengis.org/info/pubaffairs/ALGORE.htm>>

- [6] GeoVRML, <<http://www.geovrml.org/>>
- [7] .geo Project, <<http://www.dotgeo.org/>>
- [8] ISO/TC211, <<http://www.statkart.no/isotc211/>>
- [9] OGC, <<http://www.opengis.org/>>
- [10] G-XML, <<http://gisclh.dpc.or.jp/gxml/>>
- [11] Michihiro Murao, Masatoshi Arikawa, Koji Okamura, "Networked Augmented Spatial Hypermedia System on Internet," 5th IFIP 2.6 Working Conf. on Visual Databases, pp. 239-253, 2000.
- [12] 相良毅、有川正俊、坂内正夫、ジオレファレンス情報を用いた空間情報抽出システム、情報処理学会論文誌「データベース」、Vol. 41 No.SIG6(TOD7)、pp.69-80、2000

【略歴】

有川 正俊 (ARIKAWA Masatoshi)

東京大学 空間情報科学研究センター 助教授

1986年九州大学工学部卒業、1992年九州大学博士（工学）授与。1989年九州大学工学部助手。1993年京都大学工学部助手。1994年広島市立大学情報科学部助教授。1999年より現職。現在、地理情報システム学会空間IT研究会主査。専門は情報工学、空間情報科学。共著『画像と空間の情報処理』、『情報の表現』。