

## 位置特定社会基盤のシステム創成論的考察

### —GPS/Wi-Fi/携帯電話基地局によるスマートフォン位置特定とアプリケーション—

長谷川 孝明<sup>†</sup> 間邊 哲也<sup>†</sup> 細江 克治<sup>‡</sup> 水野 一男<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup>埼玉大学大学院理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

<sup>‡</sup>株式会社デンソーコミュニケーションズ 〒448-8661 愛知県刈谷市昭和町 1-1

\*株式会社デンソー 〒448-8661 愛知県刈谷市昭和町 1-1

E-mail: <sup>†</sup>{takaaki, manabe}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp, <sup>‡</sup>hosoe@d-coms.co.jp, <sup>†‡</sup>mizuno@denso.co.jp

**あらまし** 本稿では、スマートフォンやタブレット端末のアプリケーションから利用されることを前提とした位置特定社会基盤について、システム創成論的観点から、測位データを交えながら議論している。モバイル機器を前提とした LBS の基本となる位置特定の誤差発生メカニズムを、アプリケーション、モバイル機器のプラットフォーム、GPS や Wi-Fi、携帯電話基地局の三層の複合要因として説明し、豊富な実データを紹介している。最後に、IMES を含めて、モバイル機器の位置特定社会基盤について考察している。

**キーワード** GPS, Wi-Fi, 位置特定, システム創成, 社会基盤, スマートフォン, 携帯電話

## Positioning Social Infrastructures from the Viewpoint of Systems Innovation

### —Applications and Smartphone Positioning Using GPS/Wi-Fi/BS—

Takaaki HASEGAWA<sup>†</sup> Tetsuya MANABE<sup>†</sup> Katsuharu HOSOE<sup>‡</sup> and Kazuo MIZUNO<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup>Saitama University <sup>‡</sup>DENSO Communications Corp. <sup>‡</sup>DENSO Corp.

E-mail: <sup>†</sup>{takaaki, manabe}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp, <sup>‡</sup>hosoe@d-coms.co.jp, <sup>†‡</sup>mizuno@denso.co.jp

#### Abstract

This paper discusses positioning infrastructures used by mobile devices such as smart phones or tablet computers including positioning data from the viewpoint of the systems innovation theory. The error generating mechanism of mobile devices' positioning for location based services (LBS) is explained as three layer's consideration, that is, applications as the upper layer, mobile device platforms as the middle layer, and sub-platforms as the lower layer, such as the GPS, Wi-Fi, and mobile phone base-stations. Actual positioning data are also introduced. Finally, positioning infrastructures for mobile devices are discussed including IMES.

**Keyword** GPS, Wi-Fi, Positioning, Systems Innovation, Social Infrastructure, Smartphone, Mobile Phone

#### 1. まえがき

一口にスマートフォンにおける「位置情報」と言っても、その意味も精度・確度も様々であり、様々である原因も複合的要因による。社会的に受け入れられやすく、広く普及するシステムの創成には、この部分を明らかにする必要がある。

IT(情報技術)の世界では、1980 年の PC インパクト、1995 年のネット・インパクト、2010 年のスマホ・クラウド・インパクトと 15 年ごとに大きな節目が見られる中、20 世紀のサイバー空間の IT から今世紀のリアルワールドの IT へと、リア

ルワールド性が急速に増してきた[1]–[6]。これは、位置情報に基づくサービス(LBS; Location-Based Services)[7]が増したことに顕著にみられる。

人間の活動の 7 割は屋内で行われているとも言われ、屋外、屋内、地下街、高層ビル街等あらゆる場所で、正確な位置特定を行えるか否かが、当該地域の経済活動に大きな影響を及ぼす。

従来、携帯電話における位置特定といえは、大まかに特定する携帯電話基地局の利用を除けば、GPS(Global



Positioning System)[7]~[10]の利用がほとんどであり、衛星からの直接波が受けにくく反射波の多い高層ビル街を除けば、屋外ではあらゆる場所で利用可能な、きわめて測位精度が高い位置特定インフラであり、携帯電話等のモバイル機器にGPSチップが標準的に搭載されることで、「第一の位置特定社会基盤」に育った。

ところで、GPS チップの室内利用を可能にした IMES (Indoor Messaging System)[11]がある。GPS チップの通信機能を用いて、室内に置いた発信機から位置情報を直接受信する手法であり、GPS チップをそのまま室内でも使える点で、フィーチャーフォン等「携帯電話+GPS」といった構成の機器では有力な手法であるが、詳しくは後述する。

一方で、前述のとおり、ユーザの持ち物はいわゆるフィーチャーフォンからスマートフォンへと大きくシフトしてきた。スマートフォンは、後述するようにその情報通信サブプラットフォームとして、「携帯電話」のほか、「無線 LAN」(本稿では以降 Wi-Fi と同義として表記することにする)、「Bluetooth」等を標準的に装備している。Wi-Fi や Bluetooth は通信半径も小さく、位置情報を乗せる手段としても使える。

しかしながら、現在スマートフォンの位置特定で GPS と並んで最も利用されている手法は Wi-Fi アクセスポイント(AP)の MAC アドレスと RSSI をフィンガープリンティング等で位置特定する手法である[12]。GPS と Wi-Fi の電波がいずれも受信できるような屋外や窓際、あるいは別途測定してデータベース(DB)を整えた駅構内、空港ビル内、ビル内、地下街では、データベースはかなり信頼性が高く、スマートフォンで GPS 機能を切りながら、位置特定が可能となっていることを我々はしばしば経験する。Wi-Fi は情報通信社会基盤としての役割ばかりでなく、GPS に続く「第二の位置特定社会基盤」に育ってきた。

しかしながら、DB をいかに作り保守するか、また、受信時刻や環境で大きく変わる RSSI の取り扱い等、精度・確度が高く安定的な位置特定社会基盤として利用するためには、現状の整理、把握と更なる進化が不可欠である。

AP は世界中に普及しており、安定した位置特定のために、そのための専用 AP を追加設置するコストも必ずしも大きいものではなく、GPS が国レベルで初めて提供・利用可能な位置特定社会インフラであるのに対し、Wi-Fi 等は一組織レベルで工夫することも可能なレベルである。しかもそれが、屋内外や地下街等の位置特定を可能にし、社会における経済活動に大きな影響をもたらすことに鑑みて、本稿では、スマートフォンにおけるアプリ、プラットフォーム、位置特定サブプラットフォームとしての GPS、Wi-Fi、携帯電話に関して、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の IT 融合プロジェクト「北海道における観光客導線による総合観光エコ事業」の実験結果の一部を用いて、システム創成論的観点[1]~[6]から議論を進める。

## 2. 位置特定結果のいくつかの例

One more 観光を目的の一つとしている NEDO の IT 融合プロジェクト「北海道における観光客導線による総合観光エコ事業」の北海道観光アプリでは、観光客が飲食店や観光地でお気に入りのショットを Android スマートフォンや iPhone で撮影し、位置情報とともにサーバにアップする機能がある[13]。サーバでは地図上に楽しい写真が公開され、共有されるのである。位置情報は Android スマートフォンや iPhone の上に乗る北海道観光アプリがそれぞれのプラットフォームの API から受け取った位置情報を付加してアップする。

千歳市の郊外の平原に建つ一軒家の K アイスクリーム店で、しばしば数百メートルの位置誤差のある写真がアップされた。しかも、それだけずれるすべてのアップは例外なく iPhone からのものであった。

後述する観測で、10 種類以上の Android 系スマートフォン、タブレット、iPhone、iPad で 1 秒ごとの自動車移動、歩行移動、静止状態の位置特定データ(GPS、Wi-Fi、基地局、あるいはそれらの融合)のログを取り、解析したが、たとえば、GPS 単体では札幌市の超高層ビル「日航ホテル」の付近で、数ブロック(数百メートル)のずれを記録することもあった。

図1に示すように、GPS は位置が既知の衛星からの擬似雑音符号を受信し、その伝搬時間を推定し、受信者の位置  $(x, y, z)$  と原子時計で高精度に同期する衛星のシステム時計と受信者の安価で低精度なクロックのずれ  $\Delta t$  を未知数として、基本的に4元連立2次方程式を解くことで受信者の位置を推定しているが、回折や反射で電波伝搬の経路が変わると伝搬時間が長く変化し、その結果連立方程式の解が異なる位置を示すことになる。高層ビルの多い都心部で GPS が大きく誤差を含む理由の主要因はここにあり、さらに、歩行や車で移動する場合には、見え隠れする衛星が常に変わり、衛星が発する擬似雑音符号の「同期捕捉」と「同期追従」が受信機で繰り返されることも測位精度の劣化の原因となる。

前述の K アイスクリーム店付近は平原の中で高層ビルもなく、図1のような環境は考えにくい。しかも本プロジェクトでは前述のように iPhone のみでこの現象が発生した。スマートフォン等のプラットフォームの上のアプリを前提として、この種のシステムを構築してゆくことは、現状コストの点から、システム・バイ・システムで作るより圧倒的に有利であり、これ以外のシステムでも位置情報の利用が盛んに行われるが、アプリケーション、プラットフォーム、位置特定サブプラットフォームの三層を考慮して、取得される位置情報の性質を明かにしておくことは重要なことである。

さらに、Android 系スマートフォンやタブレットで、GPS 機能を OFF にした状態で Wi-Fi 機能を ON させて、JR 札幌駅から北海道大学構内に向けて前述のように1秒ごとに位置情報取りながら歩行で回ると、概ね正確な位置を示しな



がらも、北海道大学構内に入ったところで、しばしば数百メートルを超える測位結果が見られた。

3: では、システム創成論の概要に触れた後、4: ではスマートフォンを前提とした位置特定の誤差発生要因を整理し、5: に前述した NEDO のプロジェクトの一環で行った、種々の環境で取得した実際の位置特定データを示してゆく。

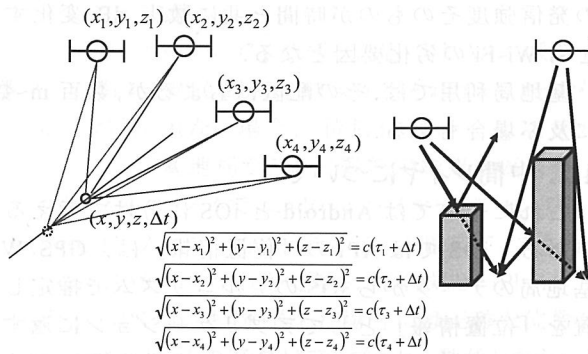


図1 GPSの位置特定原理と都市部で弱い訳。

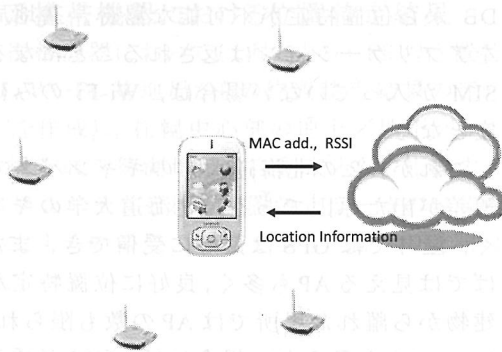


図2 Wi-Fi (RSSI)による位置特定

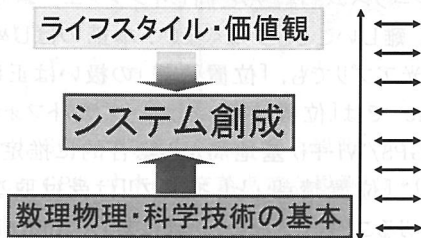


図3 システム創成の基本。「数理物理・科学技術の基本」と「ライフスタイル・価値観」を十分考慮してシステム創成。

### 3. システム創成論とスマートフォンにおける位置特定

#### 3.1. システム創成論の概要[1]~[6]

社会に定着しやすいシステムの創成を目指す「システム創成論」の基本は、図3に示すように、「ライフスタイル・価値観」と「数理物理・科学技術の基本」の両面から進めることが最も基本であり、図右の縦の両矢印は一気通貫するディレクタと各階層の専門家の縦系横系を紡ぐような組織の構成が重要であることを示している。

その5原則は、

- ① システムは人間・社会のために存在する。この最上位概念をもってシステム創成(企画・設計・普及)に当たる。
- ② 既にあるものはすべからく使う。修正する場合も修正は最小限に。従来のシステム、サブシステムの利用では不合理な場合に新たなシステム、サブシステムの創成を行う。
- ③ プラットフォームは人類の共有財産。プラットフォーム鉄の掟(注)に従う基本構造を持ち、排他的にならず、皆で協力してプラットフォームを創り、プラットフォームの上のアプリケーションやサービス、プラットフォームの下ベンディングで競争をする。また、マイグレーション(エボリューション)を前提とした基本設計になっていること。
- ④ ユーザの持ち物は One Device/ M Cards を境界条件とする。
- ⑤ 官はプロモータ。プロモーションの期間が終わった後、システムはそれ自体で自立できること。

((注)プラットフォーム鉄の掟: 特定のアプリケーションにも、特定のサブプラットフォームにも依存しないプラットフォームの基本設計)

に集約される。

また、その方法論としては、図4に示すように、具体的システムから始め一旦抽象化の上り階段を昇って抽象化し、その後、許される時間を鑑みながら、「ライフスタイル」、「価値観」、「ユーザの持ち物」、「技術的側面」等を境界条件としてシステムの実現に向けて具体化の下り階段を降りてくる。

前述の IT 融合プロジェクトでは、スマートフォンの普及に鑑みた低コストでのシステムの実現や、SNSでよく見られる美味しいもの等知らせたいことのネットへのアップ、システムのエボリューション、マイグレーションの可能性等レイヤの高いところから低いところまで考慮をしている。

本稿では、位置ずれの原因をレイヤの低い位置特定サブプラットフォームから、中間レイヤの iOS[14]や Android[15]のプラットフォーム、さらに、ユーザが直接触れるプラットフォーム上のアプリに分けて、検討を進める。



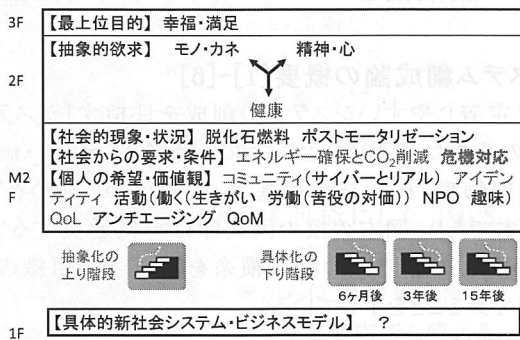


図4 抽象化の上り階段と具体化の下り階段による階層的システム創成 (システム創成の方法論)

#### 4. 北海道観光アプリからの写真のアップロードの位置誤差について

スマートフォンの上の北海道観光アプリは図5のように考えることができる。これを動作させた時の位置特定誤差の原因は、前述のように、下記のような階層に分けて考えてゆく必要がある。

- (1) 下位レイヤ:位置特定サブプラットフォームによるもの (GPS の誤差に起因するもの、Wi-Fi の位置特定誤差に起因するもの、携帯電話基地局に起因するもの)
- (2) 中間レイヤ:Android/iOS 等のプラットフォームから提供される機能に起因するもの(API)[14]~[15]
- (3) 上位レイヤ:プラットフォーム上のアプリの動作のアルゴリズムに起因するもの



図5 スマートフォン・プラットフォームと本稿で扱う北海道観光アプリ。

本節ではそれぞれのレイヤに分けた上で、最終的にはこれらの複合要因で決定する位置特定の誤差原因を述べてゆく。

##### 4.1. 下位レイヤについて

下位レイヤでは、さらに GPS 単体、Wi-FiAP の MAC アドレス利用 (以降、単に Wi-Fi)、携帯電話基地局の電波による位置特定 (以降、単に基地局) に分けられる。

GPS は本アプリの利用環境では、前述のような高層

ビル街での電波の反射と遮蔽の影響が最も大きい。

Wi-Fi 利用では、これもすでに述べたが、的確な DB 作りと更新が重要であり、また、RSSI の変化に対応したアルゴリズムも重要である。著者らは AP を背に負ったユーザが胸の前でスマートフォンを持った場合、スマートフォンが LOS で AP を見た場合に比べ約 10-15dB の減衰があることを確認している[16]。また、AP の発信強度そのものが時間と共に数十 dB 変化することも Wi-Fi の劣化要因となる。

基地局利用では、その配置にもよるが、数百 m~数 km に及ぶ場合もある。

##### 4.2. 中間レイヤについて

これについては Android と iOS に分けて考える必要がある。iOS では API の「位置情報」は、GPS/Wi-Fi/基地局のデータから iOS のアルゴリズムで推定した位置を「位置情報」としてアプリケーションに返す。これに対し、Android では、GPS の位置情報と Wi-Fi/基地局の位置情報は別に扱うため、GPS 単独の位置情報を扱うことが可能となる。ただし、Android の場合も Wi-Fi と基地局はアプリケーション側から分けられず、GPS を OFF にして、Wi-Fi のみで位置情報を取得するロガーアプリを作成し、位置情報を集めても、Wi-Fi で DB から位置特定が不可能な場合、基地局からの情報をアプリケーションは返されることになる。ただし、SIM が入っていない場合は、Wi-Fi のみによる位置特定となる。

これが、2.の北海道大学のキャンパスで時々大きな誤差が出た原因である。北海道大学のキャンパスは広く、屋外では GPS は良好に受信でき、また、建物のそばでは見える AP も多く、良好に位置特定ができるが、建物から離れた場所では AP の数も限られ、GPS を OFF にし、AP も見えない場合には、SIM が挿入されていれば自動的に基地局からの推定位置をアプリに返すことになる。

##### 4.3. 上位レイヤについて

しばしば、iPhone でも Android 系スマートフォンでもほぼ同様に動くアプリの開発が行われている。しかしながら、全く同じアルゴリズム、ほとんど同じインタフェースで動くアプリの開発は、難しいことも少なくない。本節のはじめに述べた北海道観光アプリでも、「位置情報」の扱いは正確には異なる。

iPhone では「位置情報」として、プラットフォームから提供される GPS/Wi-Fi/基地局から総合的に推定される位置を一元的に「位置情報」としてアプリは受け取る。このときに GPS を切ることもできない。これに対し、Android 系スマートフォンでは、GPS による位置推定ができていない場合、北海道観光アプリでは、写真をアップしないようなアルゴリズムになっている。GPS の位置推定結果を Wi-Fi/基地局の位置特定結果と別に扱うことが可能であるためである。



さて、ここまでくると 2. で挙げた K アイスクリーム店での現象が説明される。K アイスクリーム店では AP は設置されていない(店内で AP からの発信が確認されなかった)。建物内に入り、アイスクリームを楽しむ席とまた衛星の条件によって GPS は測位結果を出さないこともある。北海道観光アプリにおいて、Android 系スマートフォンでは、GPS が動作すればアイスクリームの写真は無事アップされ、動作しなければ、アップはしないことになる。

一方、iPhone では、K アイスクリーム店では AP の設置がないため、Wi-Fi での位置特定結果が得られず、GPS の位置特定結果が得られない場合、「位置情報」として、プラットフォームはアプリに基地局からの位置特定結果を返してくる。

本アプリのアルゴリズムで、android 系スマートフォンでは、Wi-Fi の利用は入れていなかったため、正確にアップされるかアップされないかのいずれかであったのに対し、iPhone では、たまたま GPS がうまく動作した場合には正確な位置情報と共にアイスクリームの写真はアップされ、動作しなかった場合は、アップそのものが中止された訳である。

もし、Android 系スマートフォンで、GPS が動作しない場合 Wi-Fi も利用するアルゴリズム採用していた場合には、また、異なる結果になると考えられる。

## 5. Android 系携帯機器における位置特定結果

Android 系携帯機器において、1 秒ごとの GPS の位置特定結果および、Wi-Fi/基地局からの位置特定結果のデータロガーアプリを作成し、札幌中心部の地上/地下/ビル内の歩行、札幌千歳支笏湖地区の自動車走行、札幌すすきの交差点の静止のそれぞれの位置特定データの収集を行った。図 6 にこれらの結果の一部を示す。個々の説明は発表時に行う。

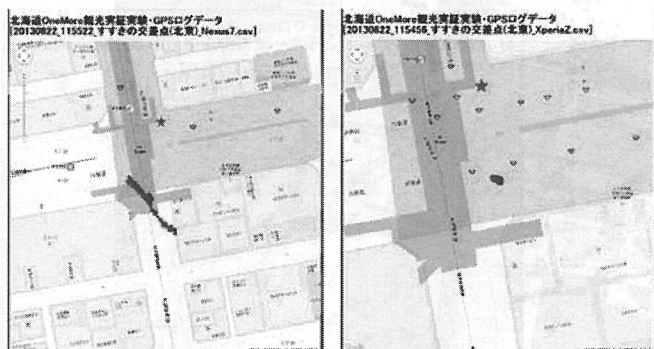


図 6(a) Android, GPS, すすきの交差点定点観測(1).(左)

図 6(b) Android, GPS, すすきの交差点定点観測(2).(右)

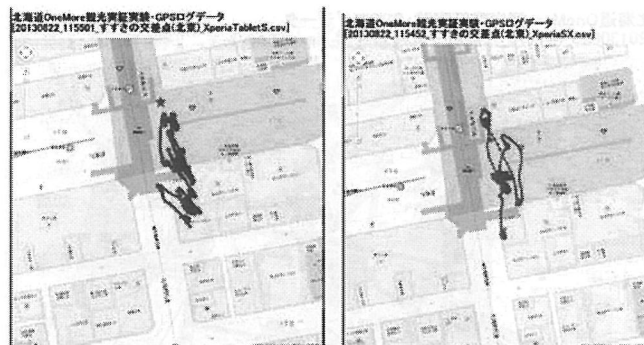


図 6(c) Android, GPS, すすきの交差点定点観測(3). (左)

図 6(d) Android, GPS, すすきの交差点定点観測(4). (右)



図 6(e) Android, GPS, 札幌駅周辺歩行観測(1).



図 6(f) Android, GPS, 札幌駅周辺歩行観測(2).



北海道OneMore観光実証実験・GPSログデータ  
[20130823\_144410\_札幌駅→北海道大学\_Nexus7.csv]



図 6(g) Android, GPS, 札幌駅周辺歩行観測(3).

北海道OneMore観光実証実験・GPSログデータ  
[20131108\_142755\_C6603-1.gps.csv]

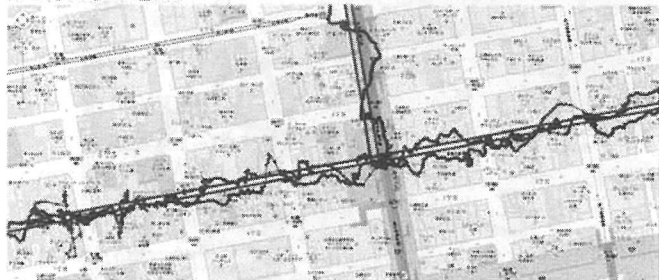


図 6(h) Android, GPS, 狸小路付近歩行観測.

北海道OneMore観光実証実験・GPSログデータ  
[20131109\_095212\_SGPT12-2.gps.csv]



図 6(i) Android, GPS, すすきの交差点付近歩行観測.

北海道OneMore観光実証実験・GPSログデータ  
[20130824\_163654\_ホテル一味の平一花茶→トヨレン\_XperiaTabletS.csv]



図 6(j) Android, GPS, すすきの交差点付近車載走行観測(1).

北海道OneMore観光実証実験・GPSログデータ  
[20130824\_172033\_ホテル一味の平一花茶→トヨレン\_Nexus7.csv]



図 6(k) Android, GPS, すすきの交差点付近車載走行観測(2).

北海道OneMore観光実証実験・GPSログデータ  
[20130824\_163654\_ホテル一味の平一花茶→トヨレン\_XperiaTabletS.csv]

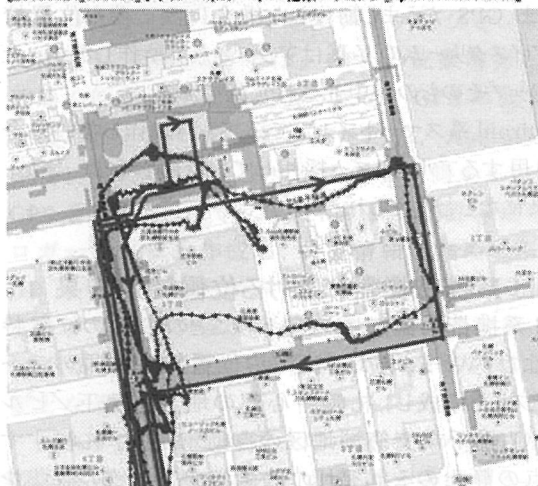


図 6(l) Android, GPS, 札幌駅付近車載走行観測(1).

北海道OneMore観光実証実験・GPSログデータ  
[20130824\_172033\_ホテル一味の平一花茶→トヨレン\_Nexus7.csv]

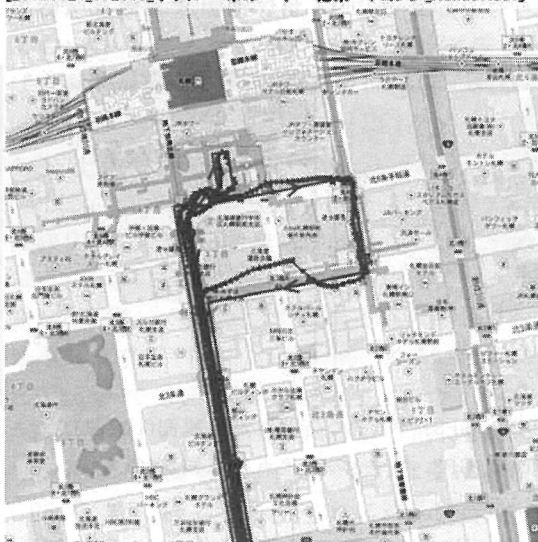


図 6(m) Android, GPS, 札幌駅付近車載走行観測(2).





図 6(n) Android, GPS, 札幌市郊外車載走行観測(1).



図 6(o) Android, GPS, 札幌市郊外車載走行観測(2).

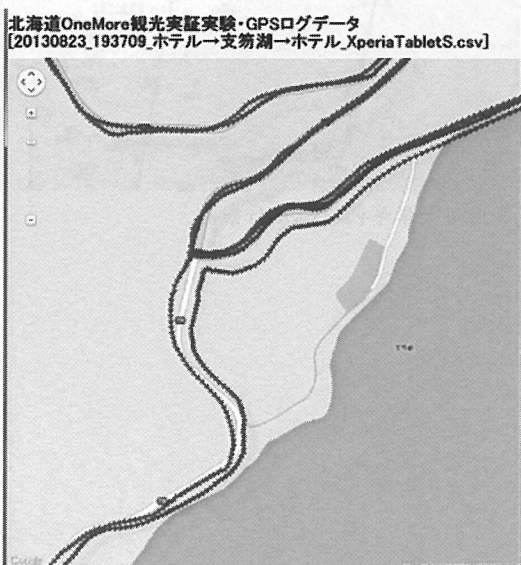


図 6(p) Android, GPS, 支笏湖付近車載走行観測(1).

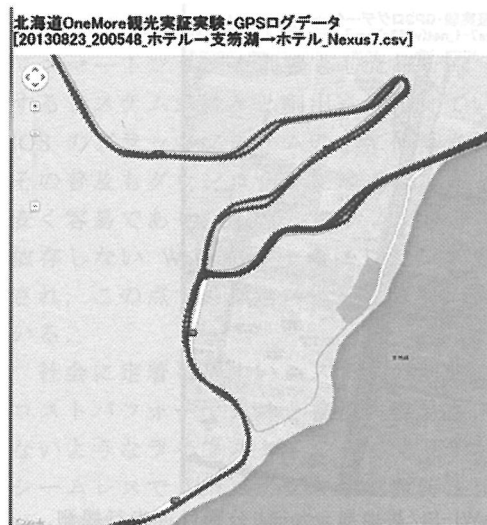


図 6(q) Android, GPS, 支笏湖付近車載走行観測(2).



図 6(r) Android, Wi-Fi/基地局, 北海道大学キャンパス歩行観測(1).



図 6(s) Android, Wi-Fi/基地局 (acc.<300m のみ), 北海道大学キャンパス歩行観測(2).



北海道OneMore観光実証実験-GPSログデータ  
[20131108\_143032\_Nexus7-1\_net(wifi3g).csv]



図 6(t) Android, Wi-Fi/基地局, 大通り公園付近歩行観測.

北海道OneMore観光実証実験-GPSログデータ  
[20131108\_142755\_C6603-1\_wifi.csv]



図 6(u) Android, Wi-Fi, 狸小路付近歩行観測.

北海道OneMore観光実証実験-GPSログデータ  
[20131109\_095212\_SGPT12-2\_net(wifi3g).csv]



図 6(v) Android, Wi-Fi, すすきの交差点付近歩行観測.

北海道OneMore観光実証実験-GPSログデータ  
[20131109\_095212\_SGPT12-2\_net(wifi3g).csv]



図 6(w) Android, Wi-Fi, すすきの交差点付近歩行観測(図 6(t)から大阪に飛んでいる例).

## 6. iOS 系携帯機器における位置特定結果

iOS では前述のように一般のアプリからは, GPS/Wi-Fi/基地局の統合データが「位置情報」として返される. その結果を図7に示す. 図 7 についても, 図 6 と同様に個々の説明は発表時に行う.

北海道OneMore観光実証実験-GPSログデータ  
[20130823\_0059\_札幌駅→北海道大学→北海道庁→ホテル iPhone4S.csv]



図 7(a) iOS, 札幌駅付近歩行観測(1).

北海道OneMore観光実証実験-GPSログデータ  
[20131109\_iPadmini-2.csv]



図 7(b) iOS, 北海道大学キャンパス歩行観測.





図 7(c) iOS, 大通り付近歩行観測.



図 7(d) iOS, 札幌市郊外車載走行観測.

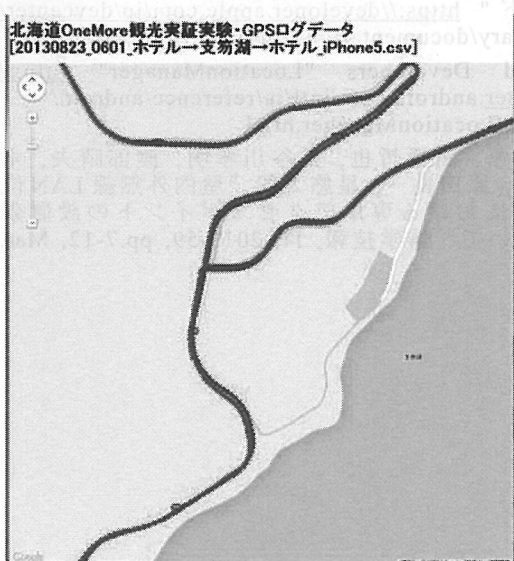


図 7(e) iOS, 支笏湖付近車載走行観測.

## 7. システム創成論的考察

スマートフォンを前提とした様々な LBS を可能にするシステムが続々と創出され続けている。Android や iOS のプラットフォームの上に構築されるシステムは、その普及もダウンロードだけですむことからコストが安く容易であり、また、システムのサービス側も OS に依存しない Web をベースにしたシステムの構築がなされ、この点でも低コストのシステム実現がなされている。

社会に定着しやすいシステムの創成には、この高いコストパフォーマンスと普及の容易さ、皆が使いたくないようなライフスタイルへのマッチが重要である。シームレスでリーズナブルな位置特定社会基盤の実現は、経済活性化に必須の要件であり、携帯機器のプラットフォームでこの機能を提供する競争が激化している。携帯機器で利用される様々なアプリを想定して、位置特定社会基盤の実現を進める必要がある。

1. で触れた IMES についてここではもう少し議論を深めたい。GPS は前述のとおり、4つ(以上の)衛星から発信される各擬似雑音符号の位相(タイミング)推定から GPS 受信機までの伝搬時間を推定し、連立方程式を解くことで位置特定を行っているが、例えば C/A コードの場合、擬似雑音符号の Gold 符号を利用し、Gold 符号の位相の推定だけに用いるのではなく、シーケンス・インバージョン・キーイング SIK で衛星の航法メッセージを送るため、50bps の通信も行っている。GPS の電波の届かない室内では、この情報に室内に置いた発信器から位置情報そのものを載せて送るのである。受信機の GPS チップでは、連立方程式を解いた答えとして位置情報を得るのではなく、通信で位置情報そのものを得るのである。(この場合の SIK はある程度の高速化は可能である。)

IMES の利用条件は位置情報を発信する送信機の室内設置と GPS チップのファームウェアのみの改変であり、この手法は GPS チップをそのまま室内でも使える点で、フィーチャーフォン等携帯電話+GPS といった構成の機器では有力な手法である。

一方で、前述のとおり、ユーザの持ち物はいわゆるフィーチャーフォンからスマートフォンへと大きくシフトしてきた。スマートフォンは、その情報通信サブプラットフォームとして、「携帯電話」のほか、「無線 LAN」、「Bluetooth」等を標準的に装備している。これらは通信半径も小さく、図8のように位置情報を乗せる手段としても使い得る。

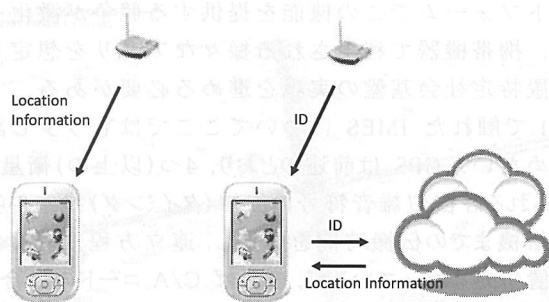
IMES の発信機は、専用のものが必要であり、インフラ設置コストに関しては、AP や Bluetooth を位置特定専用ユースで用いたとしても、こなれた機器の低コスト性は魅力的である。

さて、設置するインフラコストの点で魅力的な Wi-Fi の位置特定基盤についてももう少し述べる。GPS の利



用可能な屋外と屋内の窓際では、GPS と Wi-Fi の同時データ取得による DB の創成が容易であるが、窓際を除く屋内と地下街は、位置と Wi-Fi のデータのひもつけをわざわざ行う必要がある。これが現在までに多くの人が集まる公共空間でのみ Wi-Fi による位置特定が可能となっている理由である。

しかしながら、人間の屋内や地下街での経済活動を考えたときには、飲食店や商店単位、おおよその売り場単位での粒度で位置情報が得られれば、実用上問題は少ない。アプリケーションや実現するサービスに鑑み、様々なプレーヤーを想定し、ビジネスモデルの中で、位置特定を第一義とした AP 等の設置を進めることも有力な選択肢であろう。これに関しては更なる検討を進めたい。



(a) 直接の位置情報取得

(b) IDを経由した位置情報取得

図8 通信による位置特定.

## 8. むすび

本稿では、スマートフォンを前提とした、位置特定社会基盤の考察を、実験結果を交えながら進めた。位置特定の誤差要因を、下位レイヤとして位置特定サブプラットフォーム、中間レイヤとして携帯機器のプラットフォーム、上位レイヤとしてアプリケーションの三層の複合要因として議論した。また、Android や iOS の位置特定データを収集するロガーアプリを作成し、Android においては、GPS、Wi-Fi/基地局の別にデータ収集し、iOS においては、プラットフォームの提供する GPS/Wi-Fi/基地局の統合位置情報をロギングし、定型的な例を紹介し、最後にシステム創成論の考察を行った。

本稿・本発表で述べた知見が、LBS に関わる研究、開発、運営、施策に携わる方の参考になり、シームレスな位置特定基盤の充実につながることを切に願っている。

## 謝 辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の IT 融合プロジェクトの一環として行われた調査研究実験結果の一部を用いて議論を展開させていただいた。ここに深謝する。

## 文 献

- [1] 長谷川孝明, “ITS とシステム創成に関する一考察” 信学技報, ITS2002-120, pp.13-17, 2003 年 3 月.
- [2] Takaaki HASEGAWA, "Diffusion of Electric Vehicles and Novel Social Infrastructure from the Viewpoint of Systems Innovation Theory," IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences Vol.E93-A No.4 pp.672-678, April. 2010.
- [3] 長谷川孝明, “システム創成論とその応用としての超小型電気自動車「イヴ」” IATSS Review, vol.36, no.3, pp.16-26, March 2012.
- [4] 長谷川孝明, “モビリティと経済活性化システム創成”(依頼シンポジウム「新しい時代に向けてーモビリティを支える ICT 技術ー(Part3)」予稿) 信学総大, no.BI-6-6, March 2012.
- [5] 長谷川孝明, “新しい交通システムのデザイン論” IATSS Review, vol.37, no.3, pp.224-232, Jan. 2013.
- [6] 長谷川孝明, “IT で高度化するモビリティのシステム創成論的観点からの研究開発” IEICE Fundamentals Review Vol.7 No.2, pp.133-139, Oct. 2013.
- [7] たとえば, Axel Kupper, Location-based Services, Wiley, 2005.
- [8] Chris Drane, Chris Rizos, Positioning Systems in Intelligent Transportation Systems, Artech House Publishers, 1998.
- [9] 久保信明, “GPS による測定値と誤差要因” 測位航法学会チュートリアルセッション(第 5 章), 2010.
- [10] 中川正雄, 長谷川孝明, “スペクトル拡散通信と測位への応用,” 日本機械学会誌, 89 巻, 817 号, pp.32-37, 1986.
- [11] [http://www.jaxa.jp/article/special/michibiki/yoshito\\_mi\\_j.html](http://www.jaxa.jp/article/special/michibiki/yoshito_mi_j.html)
- [12] たとえば, 伊藤誠悟, 川口信夫, “アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリッド位置推定手法とその応用” IEEE Trans.EIS, Vol.126, No.10, 2006.
- [13] [http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100211.html](http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100211.html)
- [14] iOS Developer "位置情報とマッププログラミングガイド" <https://developer.apple.com/jp/devcenter/ios/library/documentation/LocationAwarenessPG.pdf>
- [15] Android Developers "LocationManager" <http://developer.android.com/intl/ja/reference/android/location/LocationManager.html>
- [16] 野田真吾, 間邊哲也, 長谷川孝明, 渡部晴夫, 木村寛治, 原田良一, 星悠太郎, “屋内外無線 LAN 位置特定における専用アクセスポイントの設置効果について” 信学技報, ITS2012-59, pp.7-12, Mar. 2013.