

携帯電話内臓GPSの位置精度

因 雄亮^{*1}, 小高 祐樹^{*1}, 北爪 繭子^{*2}, 平野 研人^{*3}, 樋口 政和^{*4}, 川崎 秀二^{*5}, 村上 仁己^{*6}

Positional accuracy of Mobile Phones GPS

Yusuke IN^{*1}, Yuki ODAKA^{*1}, Mayuko KITAZUME^{*2}, Kento HIRANO^{*3}, Masakazu HIGUCHI^{*4},
Syuji KAWASAKI^{*5}, and Hitomi MURAKAMI^{*6}

ABSTRACT : In recent years, network applications with location-awareness have been attracting a lot of attention as a technical element for ubiquitous computing. Among such applications, environmental domain especially requires, for the sake of immediate detection and providing solutions, a high precision of auto-detected location information of relevant places. In order to realize the precision, technical challenges will be evaluation of the precision of GPS information and how to improve it. So far, these issues have rarely been studied, however. In this paper, we consider especially GPS function on mobile phones, first to evaluate the precision of GPS information on mobile phones, and second to study how to improve the precision.

Keywords : GPS, DGPS, Mobile Phone, Synchronization loss

(Received September 15, 2009)

1. はじめに

我々が抱えている日本の課題, 1. 少子高齢化, 2. 安心・安全, 3. 環境問題, を解決する手段として, 情報通信技術(ICT: Information and Communication Technologies)が期待されている。その中でも, 携帯電話は, 最も我々の社会で普及しているネットワーク機器であり, 誰もが24時間身につけている唯一の情報収集・伝達機器でもあることから, 特にその応用が効果を発揮すると思われる。

現在携帯電話は, 日本の市場で1億台以上普及しており, 誰もが保持している情報端末機器である。この携帯電話を使用する事により, いつでもどこでも便利で有益な情報を入手する事ができる。ユビキタス環境の構築, 情報取得の為に重要なツールである。[1]

現在ほとんどの, 携帯電話はGPSを内蔵しており, それによって得られる位置情報は非常に重要な情報となっている。この位置情報を有用なコンテンツにするために

は, 高い位置精度を持たせることが必要である。我々は, これまでの検討でGPS情報は場所によって大きな誤差が生じることを定量的に示した[2-4]。後述するが, 携帯電話基地局で補正を行っているシステムでも屋外では30m以上, 屋内では100m程度, 悪い時には1000mという非常に大きな誤差が生じることがある[5-6]。緊急時や災害時などの事態では, より正確な精度が必要となる。

そこで本論文では, これら携帯電話位置情報がどのような特性をもっているかを実験によって明らかにし, それに対する考察を行った。

2. 携帯電話内臓GPS基本誤差特性

我々はまず携帯内臓GPSの誤差はどの程度の大きさであるか確認するために, 東京都武蔵野市でGPSの測定実験を行った[2-4]。現在, 携帯電話に付随しているGPSは大きく分けて2種類に分かれる。1つ目はGPS衛星のみで測定するGPS単独測位方式(B社端末), もう1つは携帯電話の基地局での誤差補正を行うDGPS方式(A社端末)である。本実験は上記2社の端末を用いて成蹊大学内において1分ごとに, 1000回程度GPS情報の連

*1: 情報科学科学部学生

*2: 理工学研究科情報科学コース修士学生

*3: 工学研究科電気電子工学専攻修士学生

*4: 情報科学科ポスドク

*5: 情報科学科客員研究員

*6: 情報科学科教授 (hi-murakami@st.seikei.ac.jp)

連続取得を行い、屋外、屋内の様々な7ヶ所の場所で行った各結果誤差の平均、最大、最小、分散、標準偏差について以下表1、2に示す。実験場所の詳細を以下の①-⑦に示す。また図1、2に、実験結果例として実験場所④でのヒストグラムを示す。

表1 実験結果 (A社の端末) : 誤差平均値, 最大誤差, 最小誤差, 分散値, 標準偏差(単位はm)

A社	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
平均	28	19	26	84	52	51	46
最大誤差	120	80	110	500	100	130	140
最小誤差	3	5	1	20	5	15	5
分散	756	182	477	4976	700	601	735
標準偏差	27	14	22	71	26	25	27

表2 実験結果 (B社の端末) : 誤差平均値, 最大誤差, 最小誤差, 分散値, 標準偏差(単位はm)

B社	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
平均	18	21	62	431	232	478	97
最大誤差	50	600	80	1150	640	1100	650
最小誤差	3	5	5	55	15	25	5
分散	151	288	15822	57851	40003	84653	25259
標準偏差	12	17	126	241	200	291	159

- ① 屋外で衛星との間に障害がある場所(上空が木で覆われている)
- ② 屋外で上空に何もなく衛星との間に障害のない場所
- ③ 屋外で建物に囲まれておりマルチパスが起りやすい場所
- ④ 屋内で6階建ての建物の1階中心部
- ⑤ 屋内で6階建ての建物の1階窓際
- ⑥ 屋内で6階建ての建物の6階中心部
- ⑦ 屋内で6階建ての建物の6階窓際

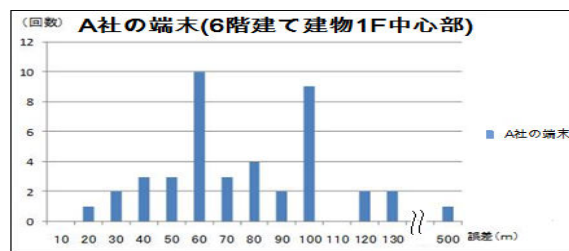


図1 A社端末を用いた実験場所④での実験結果

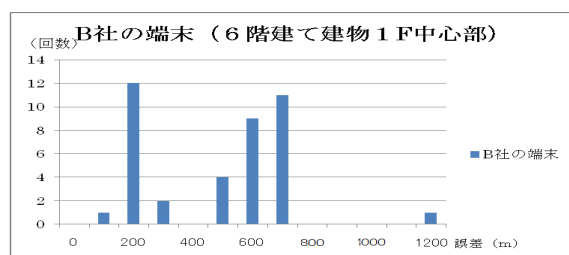


図2 B社端末を用いた実験場所④での実験結果

表1、2、図1、2の結果からもわかるようにB社に比べ、DGPS方式を用いているA社の方が、基地局を介し誤差補正を行っているため、少ない誤差を示した。なお、両端末ともに5%程度の頻度で、同期外れを起こし非常に大きな誤差が発生した。

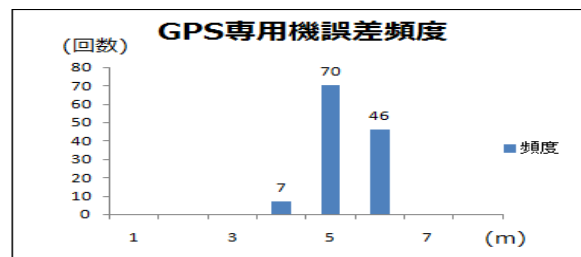


図3 GPS専用機を用いた取得結果

図3は市販しているGPS専用機の結果である。実験場所②屋外で、上空に何もなく衛星との間に障害のない場所での測定結果である。GPS専用機は携帯電話GPSに比べ、上空に障害のない場所など測定に適した環境ならば、非常に高精度な位置検出ができるが、屋内、もしくは建物の近くだと測定不可となる。このように屋内でも一定の誤差距離で検出できる携帯電話GPSの方が、GPS専用機よりも我々日常に安定的に使えることを確認した。

そこで以後の実験は、測定誤差が少ないDGPS端末(A社端末)を使用して実験を行った。

2.1 アンテナ方向による特性評価

携帯電話は、3G仕様の通信に加え、BluetoothやGPSなど各種無線機能のため、複数のアンテナを内蔵している。上記で述べたアンテナの配置は、ユーザーの利用姿勢を考慮しているため概ね決まっており、一般的にGPSアンテナはディスプレイ側の筐体の上端に配置される。また、現在の携帯電話サイズにおいて理想的なアンテナの長さを確保するのは難しく、アンテナの性能を最低限維持するためカスタム開発が行われている。

そこで我々は、同時刻、オープンスカイな環境においてアンテナ方向により、1分ごとにGPS情報の連続取得を1000回程度行い、GPS測定誤差に違いがあるかをGPSの誤差量、偏り度合いについて実験した。

表3 実験結果(携帯機種: W51SA): 誤差平均値, 最大誤差, 最小誤差, 分散値, 標準偏差(単位はm)

アンテナ方向	東向き	西向き	南向き	北向き
誤差平均	13	12	14	14
最大誤差	80	94	57	56
最小誤差	0	0	1	0
分散	92	99	99	108
標準偏差	10	10	10	10

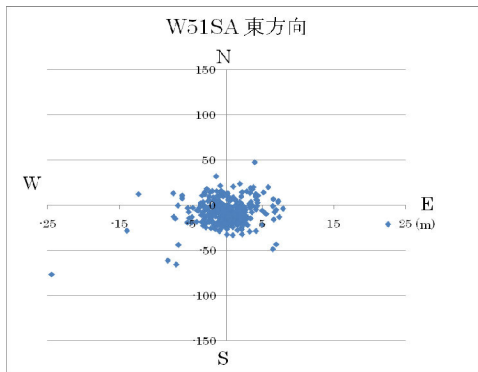


図4 W51SA を用いたアンテナ方向(東)での実験結果

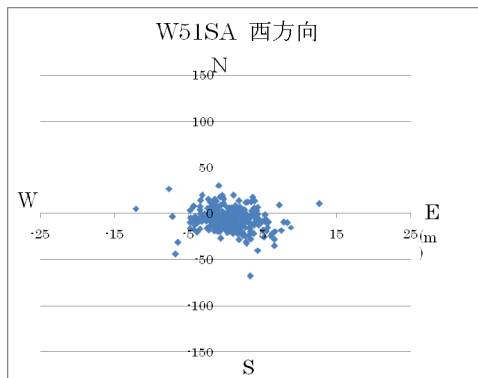


図5 W51SA を用いたアンテナ方向(西)での実験結果

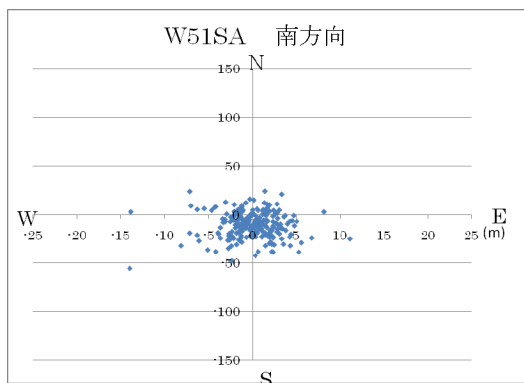


図6 W51SA を用いたアンテナ方向(南)での実験結果

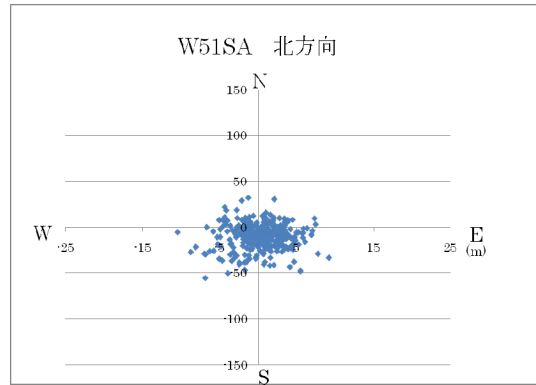


図7 W51SA を用いたアンテナ方向(北)での実験結果

表3, 図4, 5, 6, 7より最大誤差に30m程度の差が生じているものの, 平均誤差, 最小誤差, 分散, 偏りの方向はほぼ同じであった。これらより, アンテナの方向によっては誤差量, 偏りともに大きな差を生じないことを確認した。

2.2 機種依存性

次に我々は携帯電話アンテナの機構部品などの設計や素材の違いによる特性が, GPSの誤差にどの程度影響をもたらすのかを確認した。本実験は, 同時刻オープンスカイな状況で1分ごとにGPS情報の連続取得を1000回程度行い, GPSの誤差量, 偏り度合いについて評価を行った。各結果誤差の平均, 最大, 最小, 分散, 標準偏差を表4に示す。また図8, 9に, 二つの機種W44T(東芝製), W51SA(三洋製)での誤差分布図を示す。

表4 実験結果(A社の端末): 誤差平均値, 最大誤差, 最小誤差, 分散値, 標準偏差(単位はm)

単位(m)	W44T	W51SA
平均	11	11
最大誤差	70	65
最小誤差	0	0
分散	87	72
標準偏差	9	8

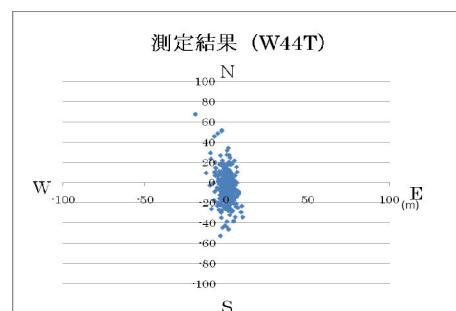


図8 W44Tでの測定結果(誤差分散図)

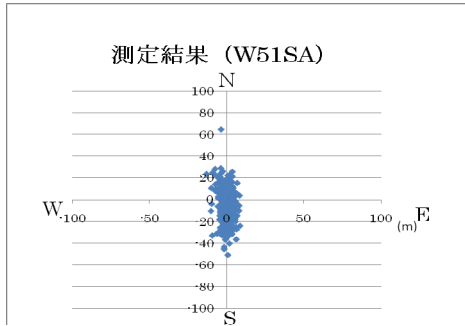


図9 W51SA での測定結果 (誤差分散図)

表4及び、図8, 9より、W44T, W51SAともに一定の方向に偏りが生じている。誤差量、偏りの方向はほぼ同じであった。これらより、誤差量、偏りともに携帯機種における依存性はないといえる。

2.3 場所依存性と地域差

図10は日本全国の同時刻におけるGPS衛星の見え方を示した図である。図10より同じ時刻なら日本全国どこでも、ほぼ同じ場所、同じ数のGPS衛星が観測できることがわかる。

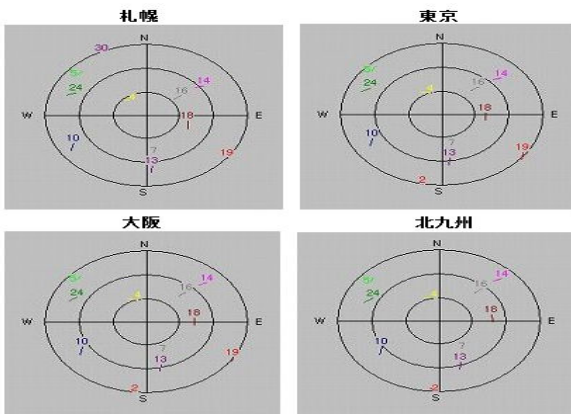


図10 日本全国のGPS衛星の見え方

そこで我々は全国で同じ結果が測定できるのか確かめるために以下の実験場所で、さらに測定を行った。①神奈川県横浜市、②栃木県日光市、③沖縄県うるま市、④沖縄県那覇市、⑤北海道札幌市の5ヶ所である。

本実験では、DGPS携帯電話を使用し、1分ごとにGPS情報の連続取得を1000回程度行い、誤差を測定した。また測定条件を同じにするため、建物の高い位置(4~5階)の窓際での測定とした。(測定結果として、実験を行ったうちの2ヶ所を図11, 12に示す、また実験結果を表5に示す。)

表5 全国各地での測定結果

単位(m)	横浜	日光	沖縄県中部	沖縄県南部	札幌市
平均値	84	84	75	41	260.86
最大値	1213	436	7087	146	3136
最小値	1.66	11.74	0.401	3.27	9.33
分散	9038	4694	161270	405	40298
標準偏差	95	69	402	20	201
データ数	727	626	984	257	819



図11 栃木県日光市での測定結果

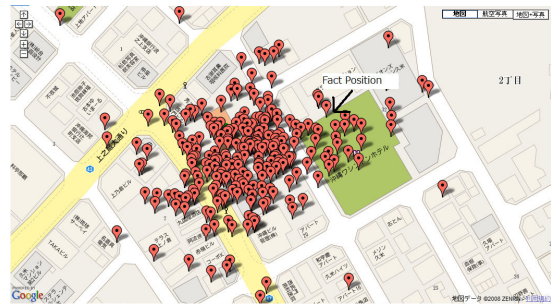


図12 沖縄県那覇市での測定結果

図10のGPS衛星の見え方から想定した結果と異なりGPS誤差は場所により大きく変わり、平均50mや200mとばらつきを見せた。場所にもよるが、最大誤差が3000m, 7000mといった非常に大きな誤差が生じることがあった。これは携帯電話内で同期外れを起こしたためで、場所により誤差の大きさは異なる結果であった。また実験2と同様にどこの場所でGPSの測定を行っても、同期外れが5%程度の頻度で起きることが確認できた。

図11, 12からわかるように、全国どこの測定地点でも測定誤差に偏りを生じた。我々はこの偏りを解析するために式(1)を用いて、その量を定量化した。

平面上の測定誤差
$$\sigma_{H_precision} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \dots (1)$$
 ここで

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n} \dots (2)$$

X軸方向の標準偏差

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n} \quad \dots(3)$$

Y 軸方向の標準偏差

実験を行った 5 ヶ所について式 (1) で示される GPS の誤差がどの方向にどれだけ誤差があるのか解析した。図 13, 14 は図 11(日光), 12(那覇)の結果である。GPS の測定誤差はどの場所でも均等に分散せずに一定の方向に偏りを見せる結果となった。

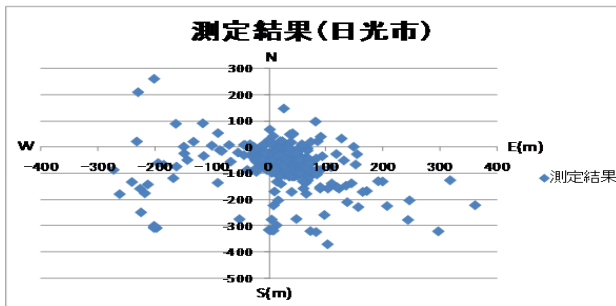


図 13 日光市での測定結果 (散布図)

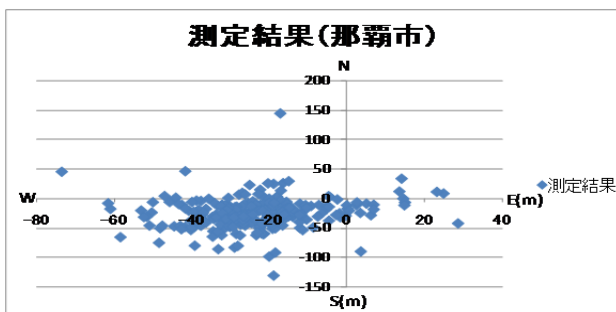


図 14 沖縄県那覇市での測定結果 (散布図)

携帯電話 GPS の偏り, 誤差の大きさを解析した結果, GPS の偏り誤差はどの場所でも発生する。またその誤差の大きさは場所により異なる。建物内, もしくは建物近辺においてはマルチパスが発生することにより, 一定の方向への偏り誤差が生じたと考えられる[11~12]。

2. 4 再現性

GPS を我々の生活に利用する場合, たとえある一定の誤差が発生しても, これらの誤差が再現性のあるものならば, 十分に実用的である。そこで以下に GPS 誤差, 偏り度合い, 同期外れの再現性を成蹊大学内, 建物の中, 屋上などの屋外で実験を行い確認した。

本実験は実験 2 と同じように GPS 情報を 1 分ごとに連続取得し, 誤差の大きさ, 式(1)の偏りを用いて解析し, 頻度と散布図で評価を行った。

2. 4. 1 屋外での再現性

屋上 (上空に何も障害のない状況) において GPS の測定実験を行った。GPS 衛星は 11 時間 58 分であり, わずかに周期性にズレが生じており, 季節によりわずかに誤差が変わるといわれている。それを確かめるためと, 常に同じ誤差が取得できるのかを確かめるために 2008 年 10 月 16 日と 2009 年 1 月 6 日, 1 月 11 日に再度 GPS 測定実験を行った。取得した結果を表 6 に示す。また図 15, 16, 17 にヒストグラムを示す。

表 6 屋上における実験結果 (単位: m)

	1回目	2回目	3回目
最大誤差	91.00	99.92	97.25
最小誤差	0.90	0.92	1.31
平均誤差	17.39	15.42	14.95
分散	267.24	218.45	171.27
標準偏差	16.36	14.81	13.10

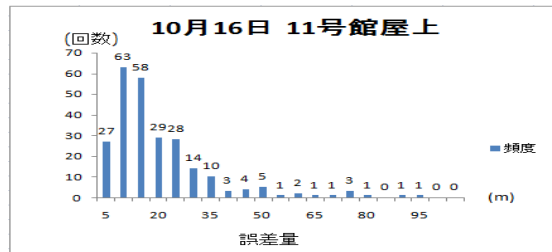


図 15 10月に携帯電話を用いた屋上での取得結果

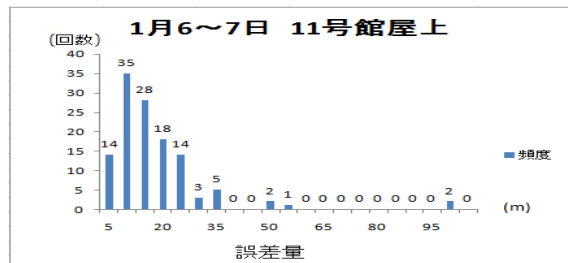


図 16 1月6日に携帯電話を用いた屋上での取得結果

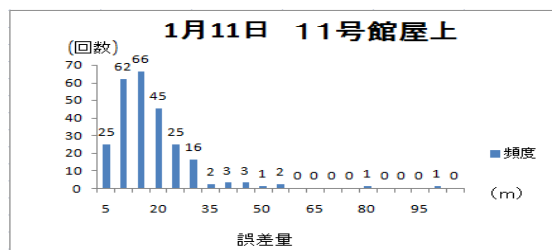


図 17 1月11日に携帯電話を用いた屋上での取得結果

表 6, 図 15, 16, 17 より同じ場所において, 上空に障害のない場所ならば, 最大誤差, 平均誤差や誤差分布など, ほとんど同じと考えられる誤差量であった。つまり屋外においては再現性があると考えられる。

2. 4. 2 屋内での再現性

次に, 建物内で GPS の測定実験を行い, 再現性があるのか三日連続して実験を行った。実験を行った場所は実験 1 の⑥(屋内で 6 階建ての建物の 6 階中心部)である。表 7 に実験結果を示す。また図 18, 19 には一回目と二回目の実験結果の誤差ヒストグラムを示す。

表 7 屋内での各実験結果

	1回目	2回目	3回目
最大誤差	353.98	278.83	345.55
最小誤差	0.41	1.72	0.26
平均誤差	52.18	63.09	48.10
分散	1826.25	2496.93	1763.60
標準偏差	42.77	50.01	42.01

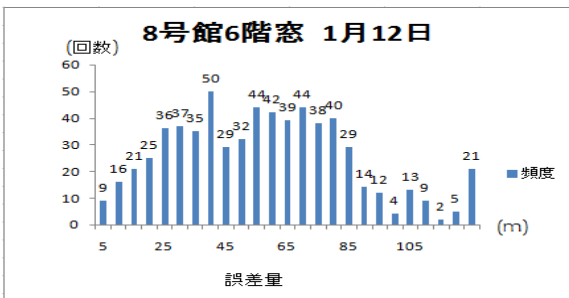


図 18 場所⑥での実験結果(1日目)

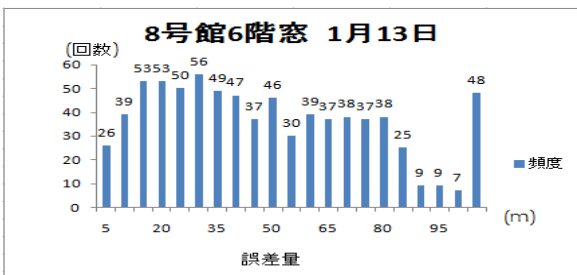


図 19 場所⑥での実験結果(2日目)

図 18, 19 より, この実験において GPS 誤差は平均 50 ~ 60m であった。また偏りについては実験 2-1, 2-3 と同様に式(1)を用いて解析を行った。図 20, 21 はその結果である。

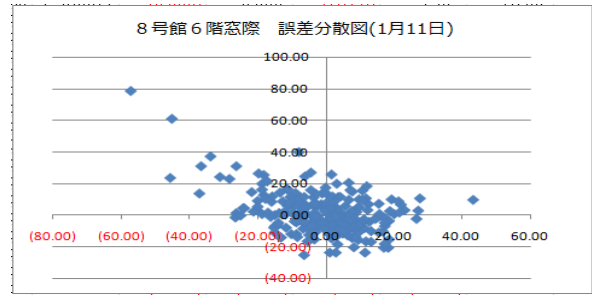


図 20 図 18 の実験の分散図

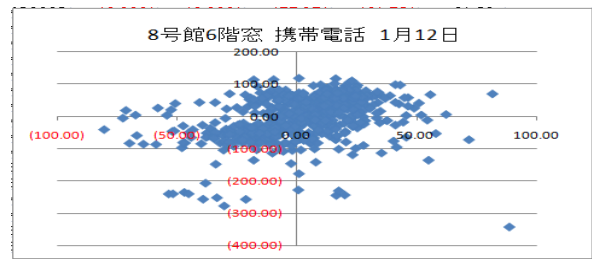


図 21 図 19 の実験の分散図

図 20, 21 より誤差の大きさは 10m 程度の違いであり, 誤差の偏りの方向もほぼ同じであった。この 10m 程度の平均誤差の違いは, 要因として衛星の周期によるズレにより, 毎時間違ったマルチパスが起こるために, 同じ場所でも多少違う誤差が発生すると考えられる。

また各実験により得られたデータから DGPS 方式の携帯電話 GPS を用いれば, 約 90% が半径 100m に位置を特定できることがわかった。

3. 専用機との比較

図 22, 23, は市販している GPS 専用機を用いたオープンスカイな状況においての GPS 測定実験結果の誤差量と, 分散度合いである。上空に障害のない場所においては専用機の方が携帯電話よりはるかに良好な結果を示した。この実験の条件での GPS 誤差はほぼ 3~5m 以内であった。

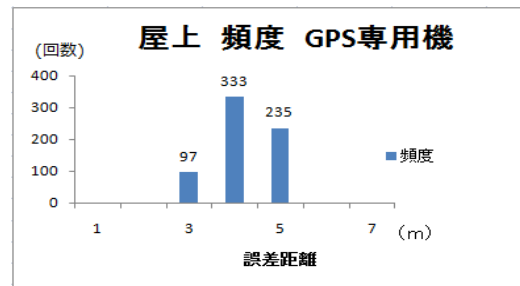


図 22 GPS 専用機を用いた取得結果

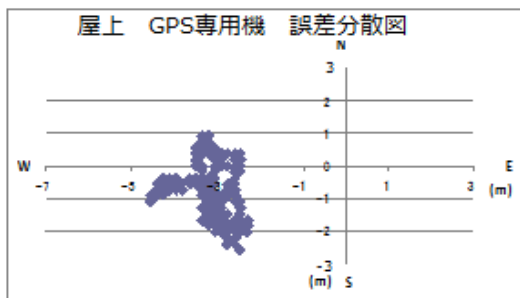


図 23 図 16 の誤差分散図

4. 同期はずれの特性

同期はずれが発生すると数 100m の誤差を生じる。この同期外れは不定期に発生し、1 日中発生しないこともあれば数時間に何度も発生することもあり、再現性はないと考えられる。図 24 は時間ごとによる誤差量のグラフである。図 24 に表されているように、一度発生すると連続で発生し続けることが多い。この同期外れを減少させることは、全体の GPS 誤差の精度向上には極めて重要であり、今後の重要な検討課題である。

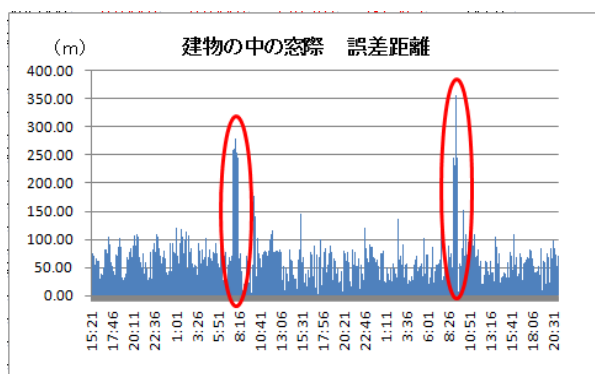


図 24 6 階建て建物の 6 階窓での同期外れ

5. あとがき

この論文で我々は、今後さらにその有用性を増し、我々の生活に不可欠となる携帯電話 GPS 基本特性について、詳細に測定、検討を行った。近くに建物がないオープンスカイの環境では、ほぼ 100m 以内の誤差になることを確認した。ただし、不定期な同期はずれが原因と思われる大きな誤差が、少なからず発生する。この同期はずれによる GPS 誤差の最小化が今後の課題である。その他、携帯電話機種依存性、場所依存性について検討を行った。

正確な位置情報を利用可能にすることは、人々の生活を便利にするだけでなく、1 章で述べた環境問題、Nox や硫化水素問題など世界的な社会問題も解決できると考

えられる。詳細な位置情報の研究はこれからの ICT 社会には必要不可欠であろう。

本研究の一部は、文科省戦略的研究基盤形成支援事業によって行われた。記して、感謝する。また、本論文で示したいくつかの測定項目は、学会[5]で発表した際の質問に答えるものである。

本実験を実地するにあたり、お世話になった KDDI 研究所グループリーダー滝嶋博士に感謝する。

参考文献

1. M. Helft, "Google Zooms In Too Close for Some," New York Times, May 31, 2007.
2. 平野, et al.: "GPS 情報の誤差縮小" 映像情報メディア学会 2008 年映像情報メディア学会冬季大会 7-3
3. 塚田, et al.: "携帯電話 GPS 特性の詳細測定とその検討", ITE Technical Report Vol33, No.11, PP.29~32 Feb 2009
4. 浅川, et al.: "災害時における安全安心情報の収集・表示システムについて—GPS 機能を用いた携帯電話の応用—", ITE Technical Report Vol33, No.11, PP.123~126 Feb 2009
5. 因, et al.: "GPS とカメラ画像による位置特定法の検討", ITE Technical Report Vol33, No.11, PP.25~28 Feb 2009
6. 平野, et al.: "携帯電話のカメラ画像, GPS 情報および地図情報融合によるユビキタス環境の構築" ITE Technical Report Vol.32, No.39, PP.1~4 Sep 2008
7. Montemerlo, M., Thrun, S., Koller, D. and Wegbreit, B. FastSLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem, In Proc. of the AAAI National Conference on Artificial Intelligence, 2002.
8. J. Brassil, "Using Mobile Communications to Assert Privacy from Video Surveillance," Proceedings of the First Workshop on Security in Systems and Networks (IPDPS 2005), DenverCO, April 2005.
9. D. Gillmor, "How do we adjust when cameras are everywhere?," San Jose Mercury News, June 20, 2004.
10. Leick, A. "GPS satellite surveying 2nd edition" John Wiley & Sons, New York (1995)
11. B.ホフマン-ウェレンホフ, H.リヒテネガー/J.コリンズ "GPS 理論と応用" Spriger Japan 2005
12. Yung-Hsiang Lu and Edward J. Delp "An overview of problems in image-based location awareness and navigation" Proceedings of the SPIE, Volume 5308, pp.102-109 (2004).

13. A. Senior “Tracking People with Probabilistic Appearance Models” Workshop on Privacy Enhancing Technologies, 2003
14. Kaasinen E., User needs for location-aware mobile services, *Personal and Ubiquitous Computing* (2003) 7: 70–79.
15. Built-in camera mobile phones increasingly used for business purposes. *Nikkei Net Business*, Dec. 9 2002.
16. Pilu, M. and Pollard, S. A light-weight text image processing method for handheld embedded cameras. Tech. Report, HP Laboratories, March 2002.