

# 高感度 GPS – GNSS の低価格時代?!

ドイツ Volker SCHWIEGER

(株)パスコ 技術統括本部 技師長

塚原 弘一 訳

キーワード: GPS、GNSS、高感度 GPS、低価格 GNSS

## 要 約

一般的に、測量技術者によって用いられる GPS 受信機や分析技術と大量市場用途で用いられるものとは区別されるべきものである。主要な違いは達成される精度にある。最近数年間に、この区別に関して測量技術者の態度を変えるかもしれない2つの発展が起こっている。一方で、測地学の目的のための低価格 GPS 受信機の使用に関する研究と実装が始まっている。将来、これは2つの応用分野の合併に至るかもしれない。他方で、大量市場は測量技術者の働くフィールドとしてより面白くなってきている。後者は、無線支援 GPS 及び更に最近では高感度 GPS というキーワードに結びついている。これらの新技術は、都市の谷あいまたは屋内での GNSS 信号の高い使用可能性を実現させるものである。本論文では、これらの技術について、さまざまな市場に対する洞察と併せて概観する。

本論文では、ナビゲーション用受信機と共に高感度 GPS 受信機の使用可能性及び精度といった品質特性を取り扱う。シュトゥットガルト大学で得られた最新成果を紹介する。予想されるように、低品質の信号まで探知されれば、使用可能性が増えるが、精度は低くなる。更に、測地学コミュニティが「測地学的」な精度を達成する可能性について、低価格受信機を使用した最新の成果に基づいて概説する。

## 1. GNSS 市場

測量技術者は、精密な測位のための道具として、全地球測位システム (GPS) とその他の稼働中あるいは計画中の地球航法衛星システム (GNSS) を使用する。稼働中のロシアの GLONASS と計画中のヨーロッパの Galileo は、10cm の測位に対して 1mm のレベルまで精度を上げるため

の改善であると見なされている。更に、リアルタイム能力は測量技術者にとっては経済的な理由から重要なものである。このような態度は、搬送波位相を測位に利用するところの高精度で高価格(10,000 ユーロ以上)な測位受信機の市場に焦点が行くようにする。この市場は、高品質受信機とアンテナ、並びにリアルタイムまたは後処理ソフトウェアを提供する幾つかの製造業者(例えば Leica Geosystems、Trimble、トプコン)で支配されている。この典型的な例として、図 1 に Leica Geosystems の SmartStation を示す。ヨーロッパ委員会は、測地的利用の GNSS 市場占有率は 1%と予測している。



図-1: Leica SmartStation (左) and Garmin StreetPilot (右、出展: Garmin)

大部分の GPS(そして、将来の GNSS 市場で)は、測量技術者の関心事の中にはない:すなわち、交通アプリケーション、位置サービス、ナビゲーション市場、レクリエーションと旅行の市場。これらの市場に使われる受信機とアンテナは、しばしば位置サービスと呼ばれるサービス事業を創るために自動車ナビゲーションシステムあるいは携帯電話に統合される。その技術は、それぞれのサービスアプリケーションの下に隠されている。利用者は、結果だけに興味があるのでそこに GPS 技術が使用されていることさえ知らない。この市場は、品質の向上と共に利用者導入費用の削減に関して急速な進歩を続けている。この市場占有率は予測で 85%以上に達する。図 1 に、ナビゲーション産業での典型的な製品(Garmin StreetPilot)を示す。ナビゲーション用受信機の市場は Garmin または Magellan のような幾つかの世界的プレーヤーを登場させているが、SiRF または u-blox のような受信ボードまたはチップセットの製造者の市場と組み込みシステムの市場は、より細かく切り裂かれている。高精度測位受信機の場合とは対照的に、チップセットの価格は明らかに 100 ユーロ以下で、ナビゲーション用受信機も 100 ユーロから購入されるであろう。ここでは、品質の関心事は位置精度よりも使用可能性の方にある。更なる稼働中または計画中の GNSS によって数が増えた衛星は、この市場分野のために重要な役割を果たす。更に1つの重要な発展に

注目しなければならない:それは、位相データは内部処理の一部であり、幾つかのチップセット製造者のケースでは出力データの部分でもあることである。これは、将来、測地学の用途にチップセットを使用することを可能にするものである。

衛星測位分野での1つの重要な変化は、純粋なGPS測位からGNSS測位へのシフトである。この進展は、2つの事実に基づいている。1つは、新たなGLONASS衛星の始まりは、ロシアの衛星システムをGPSの価値ある支援システムとしたこと。GPS受信機の製造者は、GLONASSを彼らのハードとソフト製品に組み込むことでこの改善に反応している。2つ目は、ESAとヨーロッパ委員会は、2008(EUC 2001)年に使用可能としているヨーロッパの航法衛星システムGalileoを開発している。これらの事実により、GNSSの使用可能性について際立った改善がなされるであろう(EISFELLERとSCHLER 2006)。これらの影響に関する詳細な議論は、本論文の範囲外である。

本論文では、2章でGNSS技術に関する最近の動向について概説する。3章はこれらの新技術でGNSSの使用可能性を向上する可能性を扱い、4章では現在提供されている技術を基に動く受信機を利用したGNSSの精度向上に関する成果を示す。これらの品質向上が測量技術者の作業現場でどう影響するかについては本論文の最後で概説する。

## 2. 新たなGNSS技術

### 2.1 高感度GPS

GPS及びGNSSの使用可能性向上に向けた1つの動きは、高感度(High-Sensitivity: HS)GPS受信機の開発である。GPS Interface Control Document (ARINC, 2000)は、地上での利用者のための最小GPS信号強度を定めている。C/Aコードでは、これは-160dBWに定められている。単位dBは、比較されるパワー値 $P_1$ 及び $P_2$ について対数で表したパワー比 $R_{DB}$ を示す。

$$R_{DB} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right).$$

上述したケースでは、単位dBWは1ワットに対しての電力比 $R_{DBW}$ を表す。

$$R_{DBW} = 10 \cdot \log \left( \frac{P}{1W} \right).$$

地上での定められた値は、衛星でのC/Aコード向けの搬送信号電力で27ワット(W)に相当する14.3dBWに該当する。与えられた搬送電力を用いることで、減衰がなければ-160dBWの値は達成されるであろう。実際は、GPS信号は、大気、樹木、建物によって減衰する。WIESERとHARTINGER(2006)によると、減衰は自動車の中で5dB、建物の中で最高20dB、地下のガレー

ジで 25dB 以上に達する。これらの減衰要因は建物内で GPS 信号を受信する際に問題を引き起こす。「通常の」GPS 受信機、特に測地学的な利用のための GPS 受信機は、低い dBW 値の信号を受信するには感度が十分でないため、室内では使えない。

低価格の1周波受信機ならば、大方の製造者は-180dBW 以下の信号を得る受信機を提供している。これらの受信機は高感度受信機と呼ばれている。本論文では、HS GPS とも呼んでいる。これらの高感度受信機は改善された信号対雑音比(SNR)を達成する。信号電力は変わらないため、SNR を向上するためには帯域幅と雑音密度の関数である雑音電力を減らされなければならない。このためには、C/A-コードで相関処理での雑音の影響を減らすため、信号を得るためのより長い集積時間が必要となる。これは航法メッセージのデータビットの長さと同乗効果による制約のため可能ではない。非コヒーレントな集積が加われれば克服されるかもしれない。これらにもかかわらず、低い dBW 値の信号を受信するという可能性はまもなく実現するかもしれない。この理由のために、HS 受信機は、多くのコリレータを用いて、それぞれの検索スペースを減らしている。最近の典型的な値では、1つの事例では 200,000 のコリレータが使用されている。反対に、「通常の」GPS 受信機では 36 のコリレータが動いている。より詳細には、WIESER & HARTINGER (2006)を参考のこと。時として、特に減衰が大きければ、集積時間は相当に長くなる。もし外部情報が利用でき、受信機が各コリレータの検索ウィンドウを減らすのを手助けするならばこの問題は解決されるかもしれない。これらの外部情報は、次の章で述べる、いわゆる無線支援 GPS を用いて提供される。

## 2.2 無線支援 GPS

外部情報を組み込んだものは、無線支援あるいはより単純に支援 GPS と呼ばれる。WIESER & HARTINGER (2006)によって確認されたように、もし搬送波-雑音の電力密度比( $C/N_0$ )が 28dBHzより下回るならば、外部情報が必要とされる。 $C/N_0$ は、dB で示した SNR と秒で示した集積時間の産物として定義される。受信機を手助けすることが可能な情報は、受信機アンテナの位置、衛星の位置、受信機及び衛星の速度、及び時間情報である。これらの情報は、受信機がどこで衛星を捕捉するかという処理を手助けする。衛星の位置は広報暦に含まれている。これは、時間情報と間接的に衛星の速度にも有効である。一般に、これらの情報は、航法メッセージに含まれている。このメッセージを受信するため、受信機は、中断なしで1つの衛星に少なくとも 12.5 分接触している必要がある(広報暦については、30 秒で十分である)。これは、建物内でのような強い減衰信号のある環境で GPS 受信機がコールドスタートする場合はたいていは不可能である。この問題は GPS 受信機に別の場所で得られた航法メッセージを送ることで解決するであろう。その1つの可能性は、携帯電話通信(例えば GSM または UMTS)による送信である。特別に受信機アンテナの位置が求められて GPS 受信機に送信される。GPS 受信機の位置を推定する1つの可能性は携帯電話測位技術(例えば WUNDERLICH ほか 2006)である。受信機アンテナの速度は異なる方法によっても測定されるということは特記されるべきである。GSM による送信は、人が

「無線支援 GPS」あるいは、より短く「支援 GPS」(A-GPS)について語る理由となっている。CARVER(2005)は、最初は広報暦だけから始まり、時間、広報暦、受信機位置、ドップラー値で表現される衛星の速度までのさまざまな支援情報によって達成される改善について示している。彼は、同じ受信時間で、単純に広報暦を使用した場合の 165dBW から全ての支援情報を用いた最終工程での最大 187dBW の利得を報告している。

WUNDERLICH *al.*(2006)は、ネットワークベースの A-GPS(測定されたデータが中央計算局に送信され、そこから受信機位置が移動利用者に送り返される)とネットワーク支援(GSM-GPS-の組合せで GPS 受信機上で GPS 受信機位置を決定する)を区別している。両方のケースでも、支援情報は携帯通信を通して移動利用者に送信される。今まで、そのような中央計算センターは世界的には実現していない。例えば、ヨーロッパではデータプライバシーを確保することが困難という理由から、前述の技術を用いたサービスを行おうとする意識は低い。最初の成果は、例えば USA(CARVER 2005、GARIN ほか 1999)で得られている。

### 3. 使用可能性の向上

#### 3.1 総括的情報

GPS の使用可能性は、支援情報(A-GPS)と組み合わせた(あるいは支援情報なしでの)GPS 受信機(HS GPS)を使用して、感度の向上、すなわち低い dBW 値での信号受信によって向上するであろう。一方で、使用可能性は Galileo と GLONASS の信号を用いることで向上するであろう。実験結果がないので、本論文では第 2 の可能性は論じない。

最近の HS GPS を使用した調査が公表され、この技術の有効性と精度についての議論がなされている。WIESER & HARTINGER(2006)は、建物のある地域で 60%まで使用可能性が向上したことを報告している。正確度は、95%信頼領域で、遮蔽効果のない地点での 1.4m から、建物のある地域での 142m までと報告されている。LACHAPELLE(2004)は、商業ビル内部において 95%信頼領域で 75m で決定した。EISSFELLER *al.*(2005)は、屋内及び屋外の環境の間の移動について 3次元標準偏差で約 25m の値を推定した。彼らは、屋内で標準偏差で最高 31m を達成した。彼らは、屋内環境での標準偏差値は既知の座標値を参照しない反復標準偏差であるとしている。

これらの精度値と共に高い使用可能性がナビゲーション用受信機の可能性を扱った調査によって確かめられている。これらの受信機タイプは、しばしば高感度チップを備えている。その中で、RAMM & SCHWIEGER(2004)は、最善のナビゲーション受信機を用いて濃い樹木の下でも 100%までの使用可能性と 3次元標準偏差で 7m の精度を得ている。

### 3.2 IAGB での最新成果

市場で入手可能な HS GPS 受信機の使用可能性と精度を調査するため、IAGB はそれぞれの評価キットを含む 3 台のチップセットを購入した。表 1 は、製造者から与えられた 3 つの受信機 SiRFstarIII、u-blox LEA-4T 及び Fastrax iTrax 03 の特性についての概要である。3 つの受信機は、-180dBW 以下の信号を捉える HS の要件を満たす。捕捉感度の違いはわずかである。全機種が A-GPS でも使われる。ドイツでは A-GPS のセンターサーバーがないため、この技術に関しての結果を提示することはできない。表の最後の列で、受信機から位相データを取り出すことの可能性について示されている。明らかに、u-blox LEA-4T だけが、このような応用に使われるかもしれない。4 章ではこの話題を扱う。

Tab. 1: 検査した HS GPS 受信機の特徴

受信機	追跡感度	A-GPS	位相データの出力
SiRFstar III	-189 dBW	possible	only with special agreement
u-blox LEA-4T	-188 dBW	possible	yes
Fastrax iTrax 03	-186 dBW	possible	not available

調査では、3 台の受信機を中心に据えるための特別なマウントが作られた。図 2 は、アダプターに取り付けられた 3 台の受信機を示す。これら受信機の使用可能性と精度に関する研究が IAGB の研究テーマの中で行われており、まだ進行中である。測定は、異なる遮蔽効果を持った環境について行われ、各測定は 20 分から 30 分間行われる。3 台の GPS 受信機は同時に動き、それぞれの航法解がコンピュータに保存される。標準偏差の決定のために使う「真位置座標」は、精密な測地学用の機器 (PDGPS とタキメーター) と方法によって測定された。以下に、「自由空間」、「極端なマルチパス」及び「屋内」の各シーンでの結果を示す。図 2 は、後の 2 つのシーンでの環境を示したものである。図 3 は、「屋内」のシーンで、真の位置座標からの測定座標値の偏差を示す。左図の赤い十字は、点の真の位置を示している。図 3 の右図で、窓 (図 2 参照) が閉まっている時間が、この間でデータが利用できていないことで明瞭に見て取れる。図 3 の右図と左図で、上述した時間帯に 100m 以上外に外れた測定があったことを示す。



Fig. 2: 「極端なマルチパス」及び「屋内」の各シーンの写真

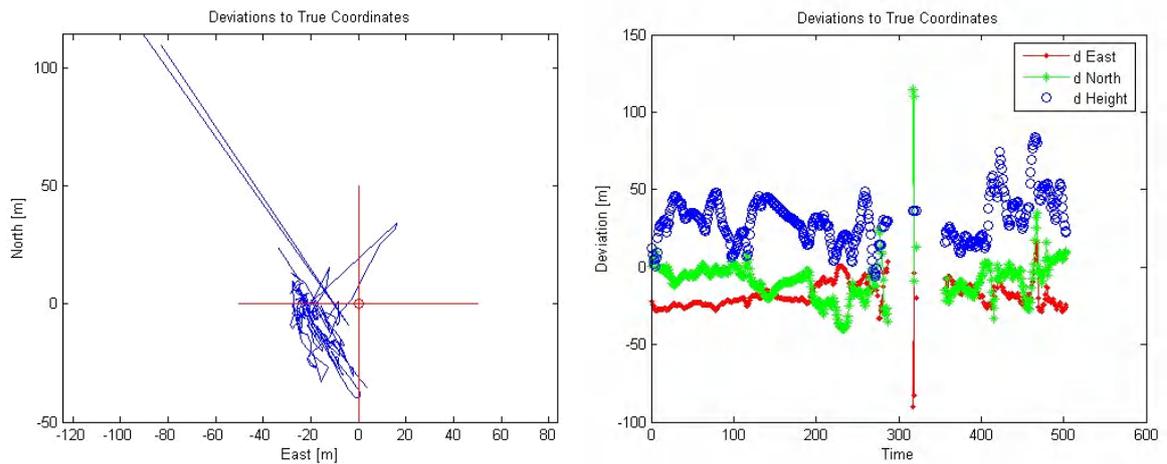


Fig. 3: 「屋内」シーンでの偏差の事例、受信機1の水平方向の偏差(左)及び時間毎の水平及び垂直方向の偏差(右)

表 2 は、異なったシーンでの使用可能性と精度を示す。使用可能性(availability)は、測定時間に対して測定可能である時間のパーセントで与えられる。精度(accuracy)については、再現性の標準偏差(RMS)で与えられる。3つのシーン、3台の受信機(Rcv.番号)及び水平方向、垂直方向及び3次元(3D)のRMSが表になっている。さらに、反復標準偏差(precision)が、3次元のシーンで与えられている。3D RMSと3Dprecisionの違いは、系統的な誤差の影響を表している。3台の受信機は、成果が中間的なので製造者との論議を避けるためにこの間1、2、3と命名されている。

Tab. 2: 各シーン及び受信機の精度及び使用可能性

シーン	Rcv. 番号	RMS [m] horizont.	RMS [m] height	RMS 3D [m]	Precision 3D [m]	Availability [%]
「自由空間」	1	2.59	5.57	6.34	1.86	100
	2	3.90	4.71	6.32	2.51	99
	3	4.24	2.01	4.74	2.77	43
「極端なマルチパス」	1	26.15	25.61	36.71	10.12	100
	2	22.62	22.16	31.67	9.69	83
	3	32.18	18.29	37.42	26.96	84
「屋内」	1	26.02	33.97	42.79	22.29	87
	2	36.71	36.04	51.45	38.73	48
	3	56.30	44.08	71.51	54.93	14

表 2 は、一般的に、使用可能性と精度は減衰(屋内)及び反射信号(極端なマルチパス)の環境で減少することを明らかにしている。受信機 1 は屋内環境でも一番良い結果を出している。この受信機では 43m の 3D RMS が達成できた。他の受信機はより悪い RMS であったが、それでもこの結果は 3.1 章で紹介したものと一致する。受信機の感度は製造者から具体的に示されているが、使用可能性は屋内シーンで 87% から 14% まで全く異なっている。さらなる調査が将来行われなければならない。それでも、「通常の」GPS 受信機は、「極端なマルチパス」や「屋内」のシーンでの測位解を得ることはできないので、HS 受信機は使用可能性の向上に結びつくという結論がなされるであろう。

### 3.3 結論

総括的情報と IAGB での中間結果とは、HS GPS の使用が使用可能性の増加につながることを示している。建物内部及び都市の谷あいでの測定が可能である。精度は、反射信号及び／または建物内部のような減衰信号の場合には減少する。それにもかかわらず、その取得位置は多くの大量市場用途に使われるであろう。しかし、測地学の目的には使用できない。

## 4. 精度向上

### 4.1 総括的情報

GPS 測位の精度向上は位相データの使用によってのみ可能である。幾つかの文献は、コードと位相による測位解の精度では約 100 のファクターで差があることを立証している(例えば SCHWIEGER 2003)。原理的に、すべての GPS 受信機は位相データを使用する。ナビゲーション

ン用受信機のような低価格受信機、チップセットまたは集積した受信機は、位相データをコード観測をスムーズにし、次の工程で時間をかけて推定位置をスムーズすることだけに使用する。一般に、利用者には位相データを使用することができない。最近の HS GPS 受信機は、3 章の表 1 で挙げたもののように、規定されたインターフェースを使用して位相データを取り出すことができるようになっている。残念なことに、そのインターフェースは盛んに利用される状況に無い(例えば SiRFstarIII のように SiRF チップ用で)。それは、一般市民または大学には利用ができない高級なオプションである。しかし、u-blox のような製造者はこの可能性を提供する(例えば LEA-4T 用)、そのため、位相データがリアルタイムまたは後処理での位置決めに使用することができる。最近、TU Graz の A. Wieser は、地すべりのモニタリングに関する調査のために位相データを使っている。また、IAGB も将来何らかの研究を行う計画である。

上述したように、HS GPS チップは自動車ナビゲーションシステムまたはナビゲーション用受信機のようなさまざまなアプリケーションで装着される。たとえば、SiRF チップは、幾つかの Garmin 受信機に内蔵される。これが、ナビゲーション用受信機で得られる結果が HS GPS 受信機で得られる結果に相当するという理由である。HILL et al. (2001) は最初の成果を示した。最近、ABIDIN 及び MUCHLAS (2005) は、100km までの距離の測線及び 20 分の測定時間で 20cm 以下の標準偏差を達成した。以下に、著者は、SiRFstarII チップを装着している Garmin eTrex Vista 受信機を使用した調査を進めている。IAGB では、精度向上の可能性に重点を置いたいくつかの調査が行われている (SCHWIEGER 2003、SCHWIEGER 及び GLÄSER 2005、SCHWIEGER 及び WANNINGER 2006)。

## 4.2 IAGB での最近の成果

SCHWIEGER 及び GLÄSER (2005) では、Garmin eTrex Vista 受信機を使用したいくつかの調査が報告されている。そこでは、使用された機器や装置、推定アルゴリズムについての詳しい説明についての同様な報告が参照されている。SCHWIEGER 及び GLÄSER (2005) での残された問題は、ハーフアンビギュイティとサイクルスリップの解決であった。このために、Lambert Wanninger によって開発されたソフトウェア Wa1 がこの問題に適用された。以下の章では、WA1 ソフトウェアによって問題を解決した SCHWIEGER 及び WANNINGER (2006) の論文の抜粋を紹介する。

以下に、概要を紹介する。図 4 は、シュトゥットガルト-Vaihingen 地区でのシュトゥットガルト大学の観測点ネットワークを表す。これらの座標値は、mm レベルの標準偏差で得られている。Garmin 受信機での測定は 2004 年に行われた。1 台の Garmin eTrex Vista 受信機が観測点 6 に置かれている。第 2 の受信機が、観測点 1、4、5、7 及び 10 の上で使用された。図 4 は、測定された測線を示す。それら全ては約 30 分間測定された。測線は最長 1.2km である。観測点 1 は

樹木で陰になっており、観測点 10 は建物の近くに位置している。これらの 2 本の観測点では、遮蔽、マルチパスと回折効果が予想される。測線の特徴は、表 3 に整理されている。

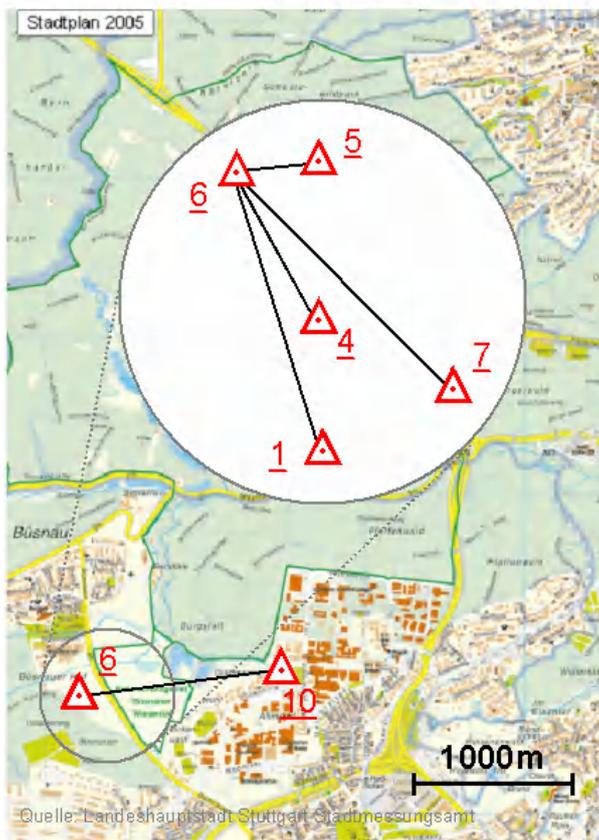


図. 4: Stuttgart Vaihingen での観測点ネットワーク及び測定された測線 (SCHWIEGER & WANNINGER 2006)

表 3: 測定された測線の特徴

観測点	5	4	1	7	10
測線長[km]	0.12	0.26	0.45	0.45	1.1
衛星数	7	8	7	8	6
視通	free	free	tree	free	building

遮蔽のない測線では、解は自動的に得ることができたが、観測点の 1 と 10 では、1 つないし 2 つの衛星が後処理で除かなければならなかった。これらの工程のため、残差が解析されねばならない。もし解析工程が行われないと、誤差要因となるアンビギュイティによって座標空間で最高 30cm の誤差が生じる。これは、Wa1 ソフトウェアが低価格受信機の技術に更に適合するようにすれば、誤差なしでのアンビギュイティ自動推定が可能であることを示している。

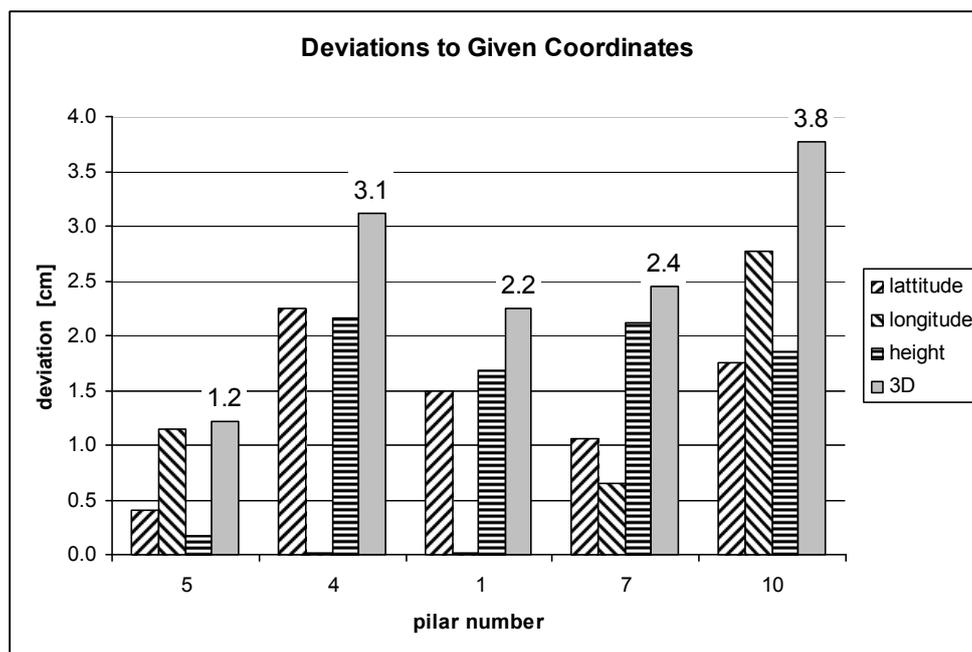


図. 5: 与えられた座標値に対する測定座標値の偏差  
(SCHWIEGER & WANNINGER 2006)

図 5 から、30 分の測定時間及び 1.1m までの測線長で、水平方向で 1.5cm、高さで 1.0cm の標準偏差が達成されるであろうということが可能である。

SCHWIEGER 及び GLÄSER (2005) では、同じ測線で Leica software SKI-Pro を使用して評価された。それはハーフアンビギュイティとサイクルスリップの問題を解決することができなかった。図 6 は、2 つの測位結果の比較を示す。与えられた mm 精度の座標値に対しての 3 次元偏差を示す。一般的に言って、偏差は Wa1 の解で明らかに小さい。これは、Garmin 受信機と Leica 受信機を組み合わせ用い測定した測線でもあてはまる (SCHWIEGER 及び WANNINGER 2006)。

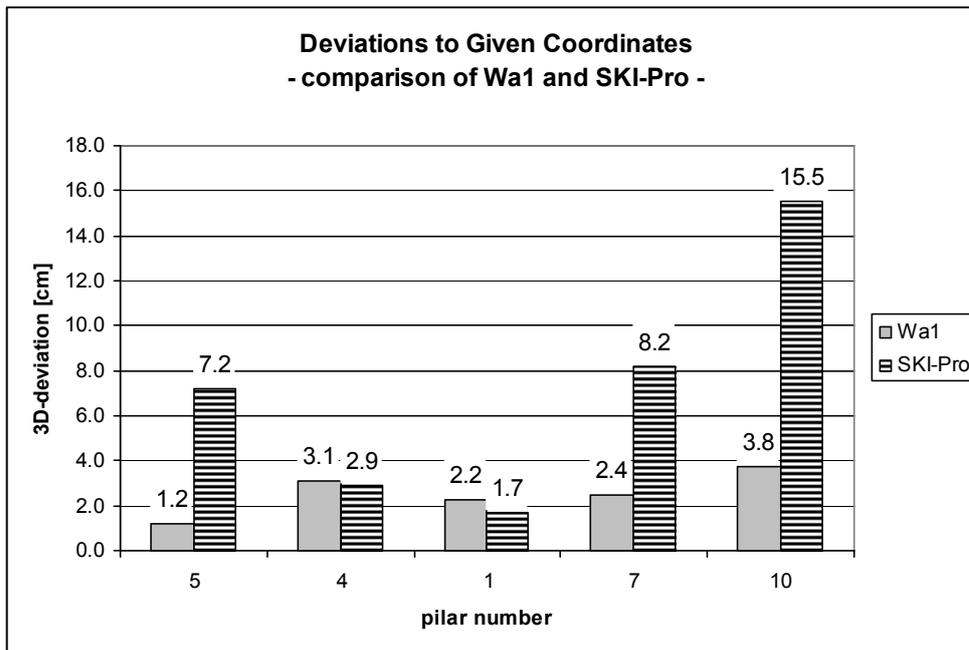


図. 6: Wa1 と SKI-Pro による結果の比較 (SCHWIEGER & WANNINGER 2006)

これら低価格受信機のキネマティック利用への可能性は市場的な関心事でもある。以下の図 7 では、典型的な測線について推定座標値が、エポック毎に示されている。すなわち、座標値を得る解が1つのエポックのそれぞれの測定で実現していることを示している。消去すべき系統的な誤差が、ランダム誤差の推定が行われる前に消去されている。これらの解の精度(反復標準偏差)は測定された短測線での測地学利用受信機の場合と同様な大きさを示している。これらの標準偏差は、水平方向で 1cm 未満で、高さではわずかに 1cm を超える。適切なソフトウェアが使用されるならば、これらの精度レベルは低価格受信機が精密なキネマティック利用でも利用できるかもしれないことを示している。

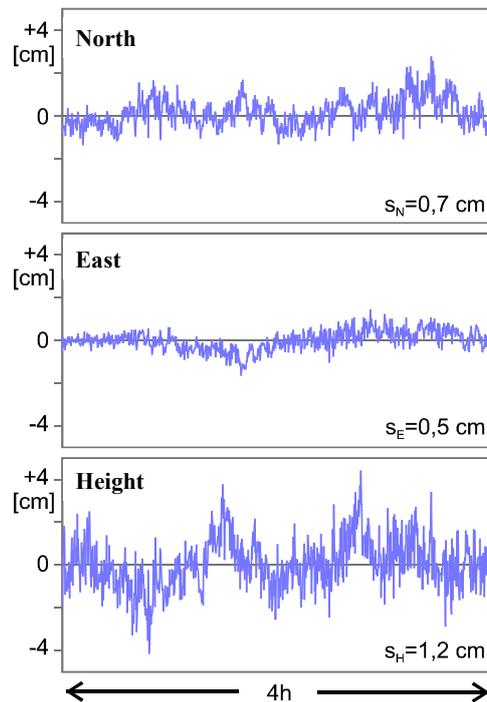


図 7: 観測点 5、6 間の測線でのエポック毎の座標値。与えられた座標値に対する偏差平均は消去されている(SCHWIEGER & WANNINGER 2006)

### 4.3 結論

HS GPS チップを装着した低価格 GPS 受信機が、精密な GPS 測位や精密なキネマティック利用で使用されるかもしれない。精度は、1.1km の測線及び 30 分の測定時間で、2cm のレベルである。これらの結果は、地籍測量や建設工事のような測量利用では十分である。この結果は、適合したソフトウェアを用いた後処理で得られている。将来には、低価格を模索している技術者を納得させるために、結果が安定的かつリアルタイムに届けられなければならない。最近 HS チップセットの製造者が「半サイクルスリップ問題」のない、より高い感度をもった位相データを提供しているという事実は、今後の更なる改善を期待させる。測地学利用のための HS GPS の使用が近い将来可能になるようである。

## 5. GNSS の将来 – 市場の融合

これまでの章で、一方で、GPS 信号の使用可能性が新しい受信機技術によって高くなっていることを示した。これは、低価格で低い精度の大量市場のレベルの中で GNSS アプリケーションの可能性をより広げる。測位のための付加的なセンサーを使用することはより本質的ではなくなった。

それは、航空業務のように安全に関連した仕事で信頼性や使用可能性を求めるアプリケーションにとっては依然として重要である。

もう一方で、筆者は、ナビゲーション用受信機、したがって大量市場の HS チップセットの精度が、適切な分析手法が使用されれば測量技術者の要求に見合うようになるであろうということを示した。これは、大量市場が次の時代には測量界に影響するかもしれないことを意味する。極端なケースでは、この技術は、特別な測地学利用の受信機を時代遅れにするかもしれない。そこでは、ソフトウェアを提供することが測地学利用の GPS 及び GNSS の製造者の唯一の仕事となるかもしれない。

2つの発展の方向線は、以下の理由によって測量技術者を大量市場に参加させることになる。

- お金儲けは低価格産業の中で行われ、測量用途のためにではない
- そして、将来、GNSS 測量アプリケーションは大量市場が牽引するものになるであろう

## 6. FIG 作業部会 5.4 の活動

本論文の中で、著者は第 5 分科会内で新たに設置された作業部会 5.4「GNSS」の活動を紹介したい。ここでは計画された特別な研究グループに関する抜粋を載せる。本論文で概説した測量技術者のための大型市場の重要性に鑑み、研究グループ 5.4.1「経済性の良い GNSS」が設置されている。本論文のこの話題に興味がある誰でもこのグループに参加することができる。当然のことであるが、皆さんは第 5 分科会のどの作業部会や研究グループにも参加することができる。

### 作業部会 5.4 – 特別研究グループ

#### 研究グループ 5.4.1 – 経済性の良い GNSS

- ・ 走行距離計、携帯電話のような付加的な必要技術を含む現在の「低価格」GNSS 市場（例えば LBS、交通）の分析。
- ・ これらの市場への測量技術者の進出の推奨。
- ・ 精密計測応用への「低価格」GPS の使用方法の開発。
- ・ 経済性の良い GNSS に関する報告。

#### 研究グループ 5.4.2 - GNSS ネットワーク(作業部会 5.2 と共同)

- ・ 測量従事者のための GNSS ネットワーク技術の分析と評価。
- ・ 恒久的ネットワークのサイト較正の重要性の分析。
- ・ 様々な商用及び非商用 GNSS ネットワークの分析及び比較。
- ・ GNSS ネットワークに関するワークショップ作り。

#### 研究グループ 5.4.3 – 精密 GNSS

- ・ GNSS 標高決定の方法の開発と公表。

- ・ GNSS/タコメーターの組合せに関する研究報告書の作成と公表。
- ・ GNSS 装置製造業者との連絡。
- ・ 測量従事者への最新技術情報の提供。
- ・ GPS 近代化及び GNSS 開発に関する議論のための意見の作成。

#### 研究グループ 5.4.4 – GNSS キャリブレーションと検査(作業部会 5.1 と共同)

- ・ GPS 装置の検査のための手順書及び推薦文書の開発。
- ・ GPS アンテナと恒久的な GPS サイトのキャリブレーションのための推薦文書。
- ・ 標準化機構との協力。
- ・ 測量従事者のための学術的ワークショップ及びチュートリアル組織化。
- ・ GNSS 装置製造者との作業手順についての議論。

#### 謝辞

著者は Ms. Junyu Mao が彼女の研究テーマの中で 3.2 章のための測定や計算を行ってくれたことに感謝する。

#### 参考文献

- ABIDIN, H.Z., MUCHLAS, A. (2005): GPS Surveying using Navigation Type Receivers. South East Asia Survey Congress 2005, 21-25 November, Bandar Seri Begawan, Brunei.
- ARINC Research Cooperation (2003): Navstar GPS Space Segment, Navigation User Interfaces. Interface Control Document ICD-GPS-200 Revision IRN-200C-004, El Segundo, California.
- CARVER, C. (2005): Myths and Realities of Anywhere GPS. GPS-World, Vol. 16, No. 9.
- EUC (2001): Galileo, unverzichtbar für Europa, Information of European Commission (EUC).
- EISSFELLER, B., SCHÜLER, T. (2006): Das Europäische Satellitennavigationssystem Galileo. In: GPS und Galileo. Beiträge zum 66. DVW-Seminar am 21. und 22. Februar 2006 in Darmstadt, Wißner Verlag, Augsburg, 2006.
- GARIN, L.J., CHANSARKAR, M., MIOCINOVIC, S., NOMAN, C., HILGENBERG, D.: Wireless Assisted GPS-SIRF Architecture and Field Test Results. ION GPS'99, 14-17 September 1999, Nashville, USA.
- HILL, C.J., MOORE, T., DUMVILLE, M. (2001): Carrier Phase Surveying with Garmin Handheld GPS Receivers. Survey Review, pp 135-141.
- LACHAPELLE, G. (2004): GNSS Indoor Location Technologies. The 2004 International Symposium on GNSS/GPS, Sidney, Australia, 6-8 December 2004.
- RAMM, K., SCHWIEGER, V. (2004): Low-Cost GPS Empfänger für Anwendungen im

- Forstbereich. Flächenmanagement und Bodenordnung, Vol. 66, No. 4.
- SCHWIEGER, V. (2003): Using Handheld GPS Receivers for Precise Positioning. 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, December 2-5.
- SCHWIEGER, V, GLÄSER, A. (2005): Possibilities of Low Cost GPS Technology for Precise Geodetic Applications. Proceedings on FIG Working Week 2005, Kairo, Ägypten, 16.-21.04. 2005.
- SCHWIEGER, V., WANNINGER, L. (2006): Potential von GPS Navigationsempfängern. In: GPS und Galileo. Beiträge zum 66. DVW-Seminar am 21. und 22. Februar 2006 in Darmstadt, Wißner Verlag, Augsburg, 2006.
- WIESER, A., HARTINGER, H. (2006): High-sensitivity GPS: Technologie und Anwendungen. In: GPS und Galileo. Beiträge zum 66. DVW-Seminar am 21. und 22. Februar 2006 in Darmstadt, Wißner Verlag, Augsburg, 2006.
- WUNDERLICH, T., PREIS, S, SU, C. (2006): Wireless Assisted GPS – technische Möglichkeiten und notwendige Infrastruktur. In: GPS und Galileo. Beiträge zum 66. DVW-Seminar am 21. und 22. Februar 2006 in Darmstadt, Wißner Verlag, Augsburg, 2006.

#### **著者略歴**

- |             |   |
|-------------|---|
| 1983 – 1989 | Study of Geodesy in Hannover  |
| 1989        | Dipl.-Ing. in Geodesy (University Hannover)   |
| 1998        | Dr.-Ing. in Geodesy (University Hannover)   |
| 2003        | Head of Department “Positioning and Measurement Techniques” at Institute for Applications of Geodesy to Engineering, University Stuttgart |
| 2004        | Habilitation (University Stuttgart)   |

#### **連絡先**

Dr.-Ing. habil. Volker Schwieger  
University Stuttgart  
Institute for Application of Geodesy to Engineering  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Möhlenbrink  
Geschwister-Scholl-Str. 24 D  
D-70174 Stuttgart  
GERMANY  
Tel.: + 49 711 685 84064  
Fax: + 49 711 685-84044

Email: [volker.schwieger@iagb.uni-stuttgart.de](mailto:volker.schwieger@iagb.uni-stuttgart.de)

Web site: <http://www.uni-stuttgart.de/iagb/>