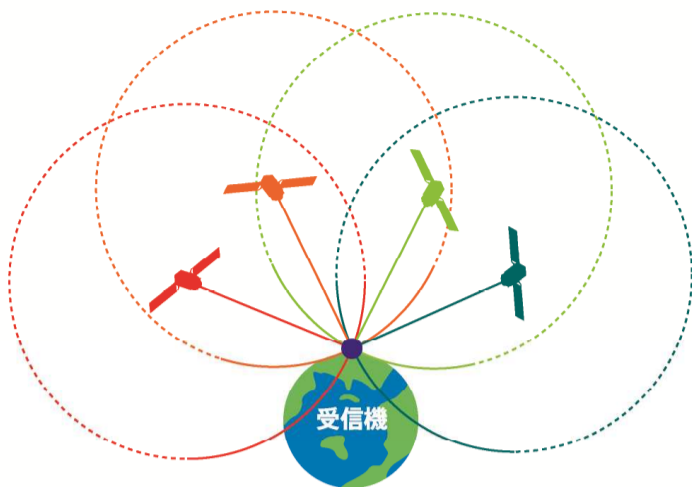
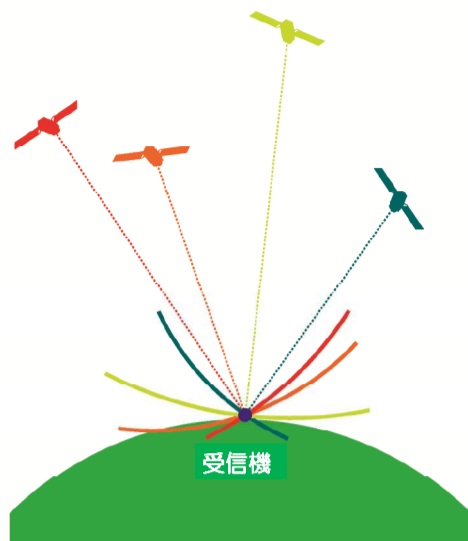


①人工衛星が自分の位置を？

GPS衛星での測位の原理

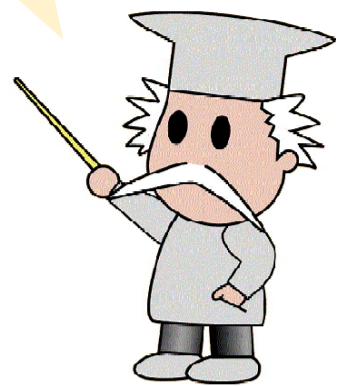


自分と4機の衛星との距離のイメージ



4つの距離がひとつに交わる点

全世界どこでも測位
するためには、24
機は必要だぞ！

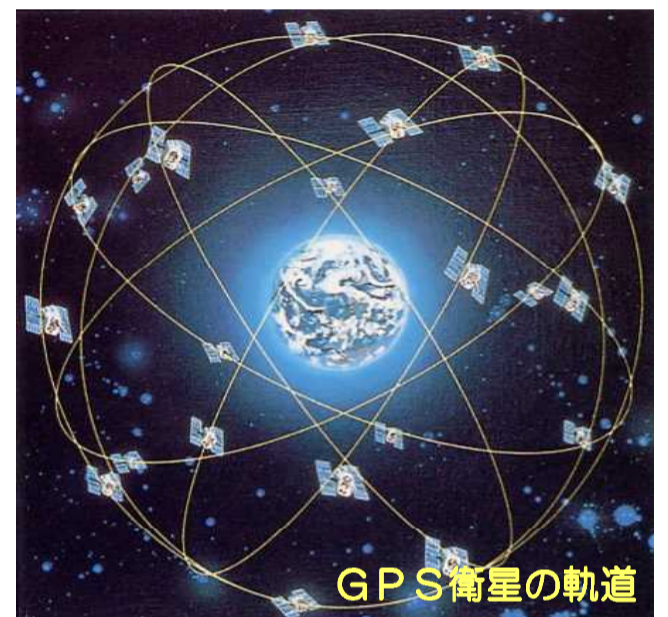


スマートフォンやカーナビゲーションでおなじみのGPS機能は、高度約20,000kmの軌道を回っている24機の人工衛星（GPS衛星）から発信される電波を使っています。

それぞれの衛星からは、軌道上の正確な位置と精密な時刻の情報が発信され、スマートフォンなどに内蔵されたアンテナでこの信号を受信すれば、受信機と衛星との距離が分かります。

時間補正用の衛星を加えた計4機の衛星からの電波を受信できれば、上の図のように4本の距離が交わる点として地上の位置が分かります。

スマートフォンなどのGPS機能の精度は3m程度ですが、測量用の機械では2cm程の高い精度で、位置を測ることができます。



GPS衛星の軌道

全地球測位システム(GNSS)

位置の情報を発信して地球のまわりを回っている人工衛星は、現在、アメリカのGPS以外にもロシアのGLONASS（グロナス）衛星（24機）、欧州のGalileo（ガレリオ）衛星（4機）、中国の北斗などたくさんあります。位置情報を教えてくれる色々な衛星システムをまとめてGNSS（Global Navigation Satellite System）と呼んでいます。

日本も準天頂衛星「みちびき」（QZSS）を2010年に打ち上げました。たくさんの衛星が利用できるようになったので、位置の精度が上がり、高さの誤差も改善されました。



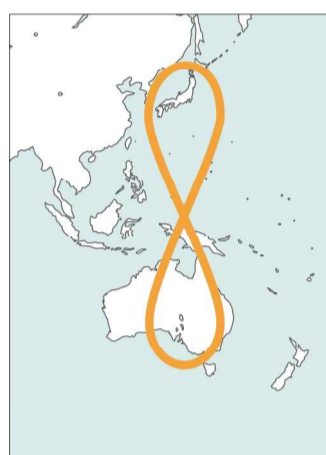
準天頂衛星「みちびき」

© JAXA

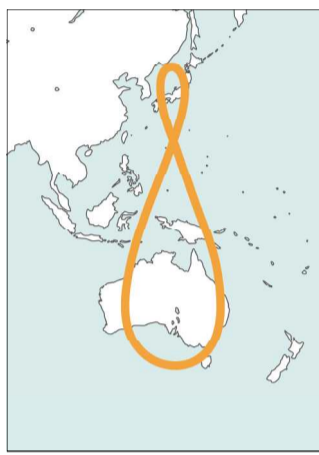
②準天頂衛星ってなに？

GPS衛星は地球上のどこでも位置が測定できるよう24機以上を6つの軌道に配置しています。このため、場所と時間によって上空に見える衛星の数が異なります。しかし、衛星が日本の上空にとどまるようにできれば、少ない衛星で日本の位置を測れるようになります。

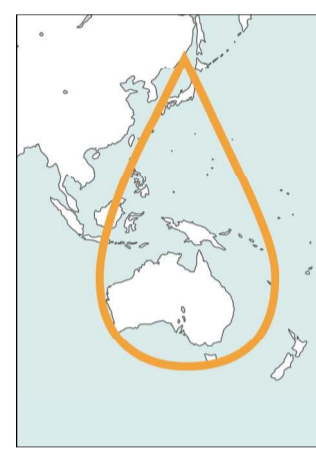
準天頂衛星「みちびき」(QZSS)は、日本付近ではゆっくり動いて、できるだけ長く日本上空にとどまるように、下図のような非対称の8の字の軌道が採用されました。



① 対象8の字：南北で同じ軌道なので②より日本上空の時間が短い



② 非対称の8の字：日本上空時間が長いので優れている

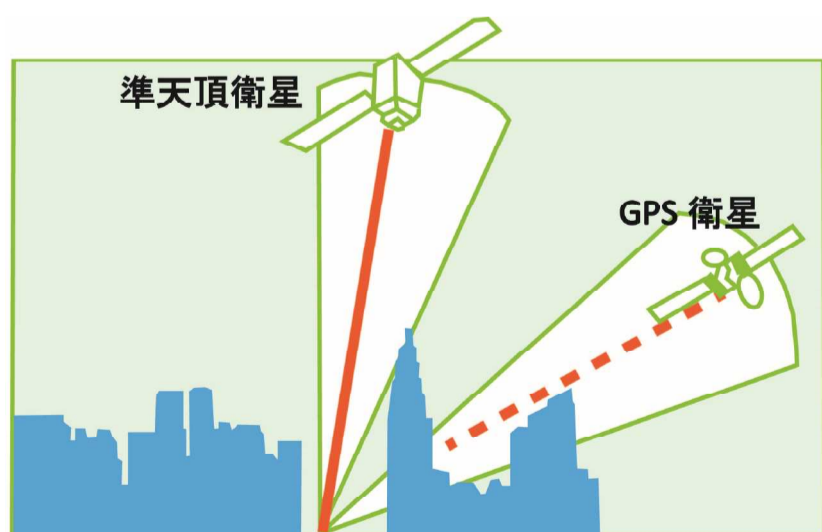


③ 涙型：日本上空時間が長いですが、地球との距離の変化が大きく不向き

準天頂衛星の軌道の種類 (②が最も優れているので採用)

2010年9月11日に打ち上げられた準天頂衛星「みちびき」は、GPSと同じ信号を発信するので、山間部や都心部の高層ビル街などGPS衛星の信号が受信しづらい場所でも、上空にあるQZSSの信号を加えることによって、安定した位置の決定が可能となりました。

現在QZSSは1機しかいないため、1日8時間程度しか使えませんが、2010年代後半には4機体制を、将来的には持続測位が可能となる7機体制を目指しています。



位置が決めやすくなるぞ！



GPS衛星は約11時間58分の周期で地球を周回しています。したがって、ある地点の上空で見えている衛星は刻々位置が変わっていきます。しかし、準天頂衛星は、電波が常に上空から来るので、山間部や都心部の高層ビル街でも電波を受信できます。正確に位置決めができます。

③GNSSの活用(精密農業)

手間を省く

「米」という文字を分解すると八十八となります。つまり、88の手間がかかると言われるほど農業には多くの手間が必要です。土づくり、種まき、雑草取り、肥料の管理、病虫害対策、その他作物ごとに色々な作業が必要となり、その良し悪しで作物の出来が大きく変わります。

その手間を省くため、耕運機、田植え機、刈り取り機などの機械が使われていますが、それらの機械をコンピュータで制御して、より効率的で高品質な農業を行う精密農業と呼ばれる新しい農業技術が注目されています。



提供：生物系特定産業技術研究支援センター



提供：(独)農研機構生研センター・新農機(株)主催
平成19年度新農機新技術セミナー資料「担い手を支える精密農業と農業機械」p16、57 図「除草剤・殺菌剤可変散布」等
http://www.shinnouki.co.jp/report/doc/h19new_tech_seminar.pdf

例えば、機械の位置と高さを測りながら動きをコントロールすることで、田んぼを水平に耕したり、一定間隔に種をまいたり、肥料や水を同じところに二度まかないようにしたりすることができます。

精密農業では機械にGNSS受信機を取り付けて位置を管理するなど、測量技術が大きな役割を果たしています。

アメリカの精密農業

1990年代にGPSの位置精度が高まり信頼性が向上したこともあり、精密農業研究で大きな成果をあげました。

さらに、2000年代にはRTK-GPS※を用いた車両の誘導が実用化し、精密農業へ大きく貢献しました。

※ RTK-GPS

リアルタイムキネマティックGPS測量の略で、既知点からの補正観測情報を携帯電話や無線を利用して移動局に送信し、移動局の位置をリアルタイムで測定する方法をいう。精度は数cm程度で精密なGPS衛星の軌道データを後日入手して補正する方法に比べ若干劣るが、リアルタイムの価値は高い。

④GNSSの活用(情報化施工)

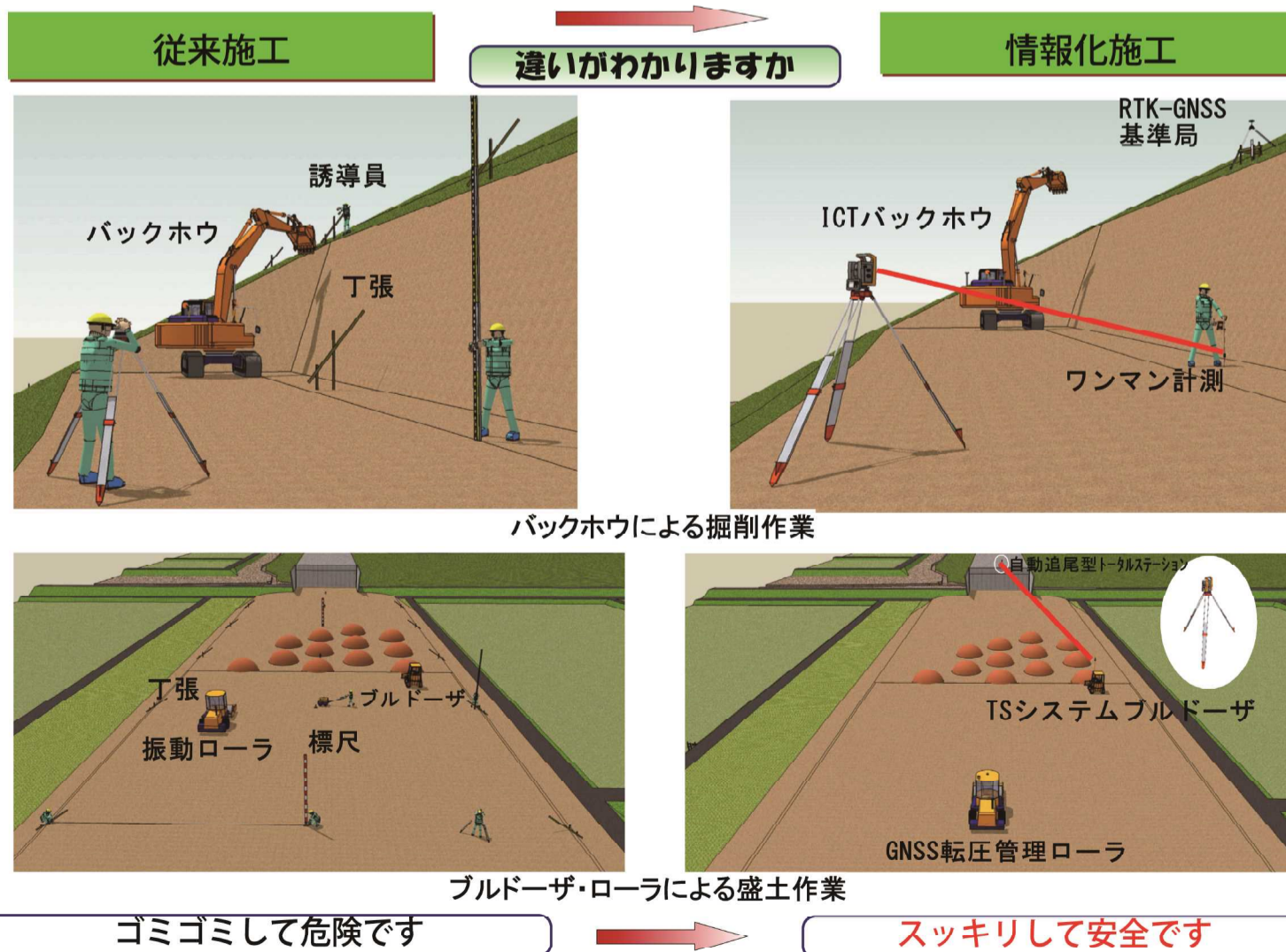
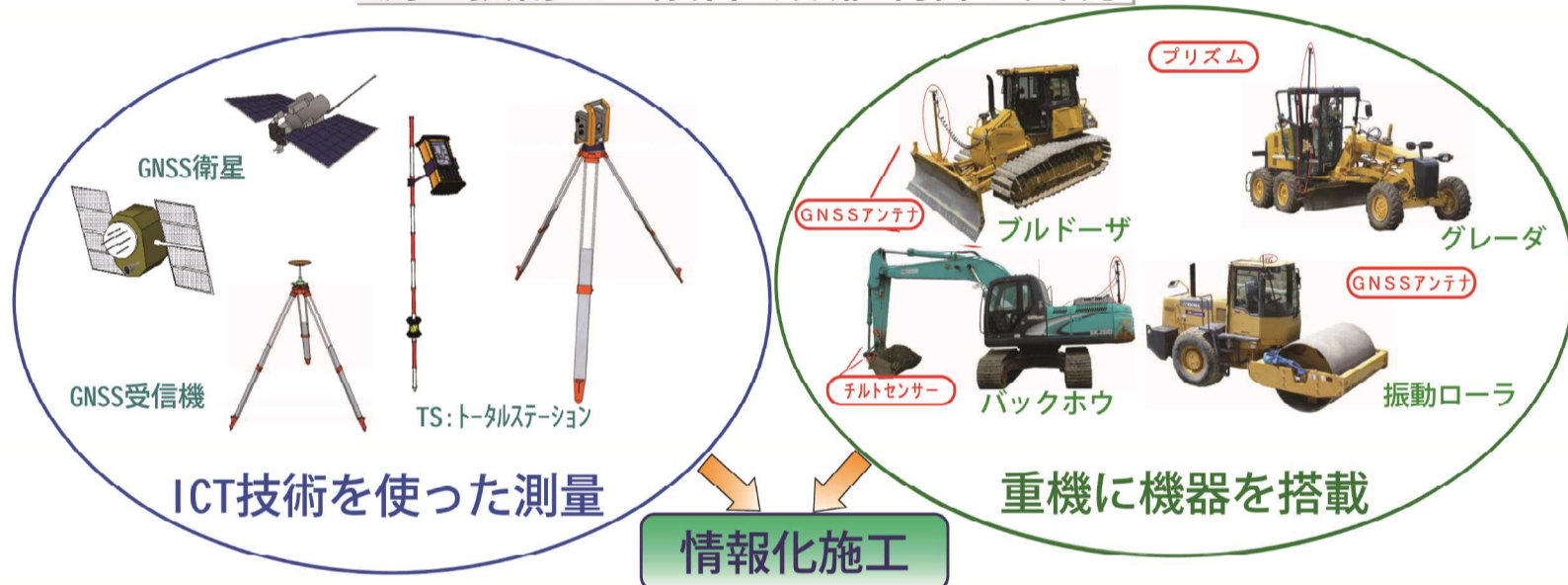
情報化施工

土木工事も、工場で物を作るのと同じように設計図どおりに工事を進めていきます。しかし、工場では機械に合わせて製品が流れてきて、同じものを大量に作りますが、工事現場では動かない自然の地形に合わせて建設機械を動かし、場所ごとにいつも新しいものを一つだけ作っています。

そのため、土木工事では工場生産のように自動化やコンピュータ制御が簡単ではありません。しかし、最近ようやく土木工事でもGNSS受信機と建設機械を組み合わせて効率化し、安全性や品質を高める「情報化施工」が始まっています。

測量技術との融合で数値制御を実現

測量技術との融合で数値制御を実現



⑤ 電子基準点が見張ってる

電子基準点※は、GNSS衛星からの電波を連続的に受信している固定局で、全国約1,300箇所に設置されています。観測データは、リアルタイムで国土地理院の中央局に集められ、毎日、電子基準点の位置をミリメートル精度で求め、日本列島の動きを監視しています。

日本列島は、プレートの境界に位置しているため、複雑な地殻変動が観測され、地震時はもちろん普段でも動き続けています。この動きから地震を起こすエネルギーが地下に溜まっている地域が分かります。

電子基準点の情報の流れ

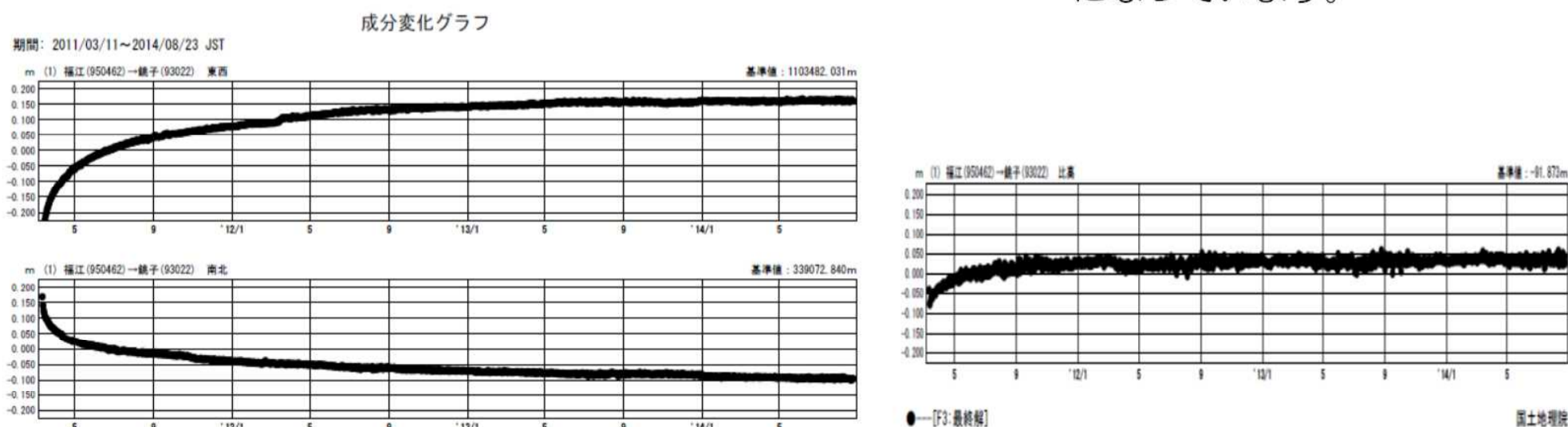


電子基準点のデータは、国土地理院で常時監視している他、全国の電子基準点のリアルタイムデータも一般に配信されており、全国の測量に利用されています。また、気象庁や大学などでも地震予測などのデータとして活用されてきています。

※ 電子基準点

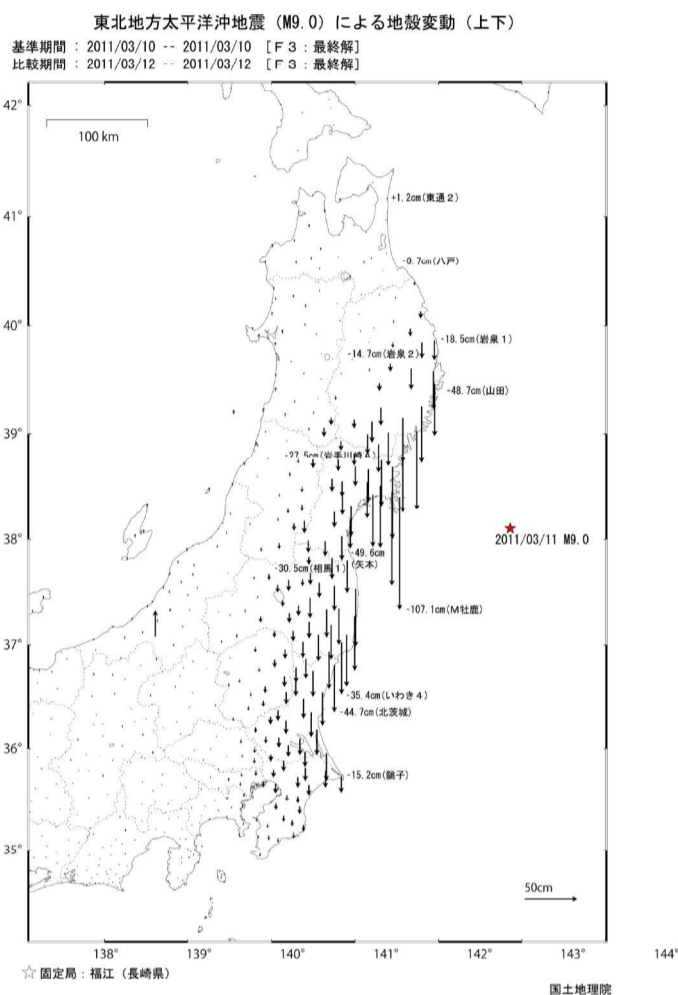
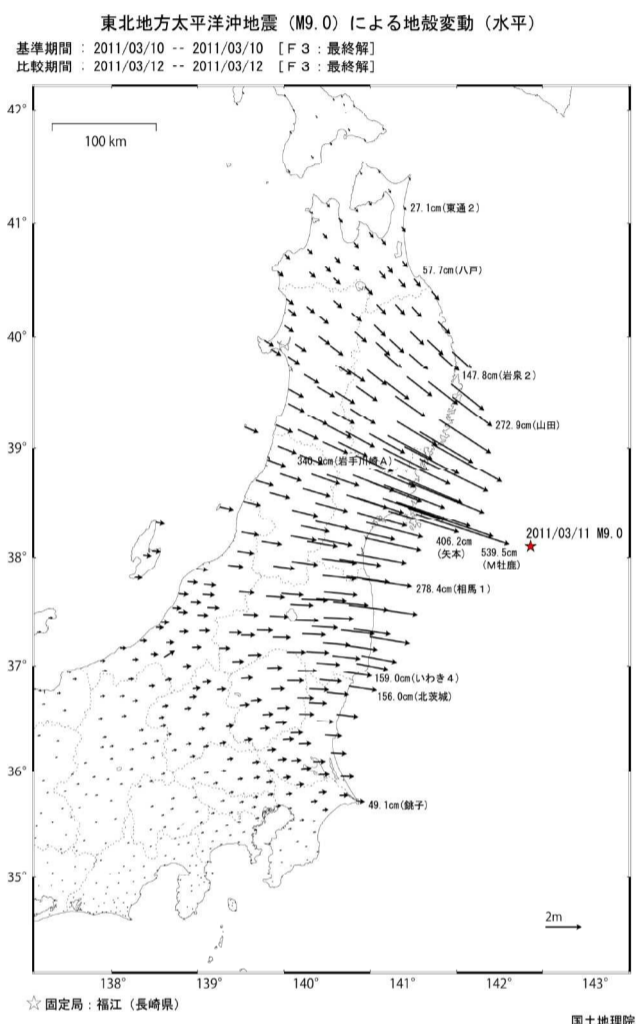
日本全国の約1,300ヶ所に設置された全地球測位システム (GNSS) 連続観測点で、衛星測位の基準となるとともに観測データを提供しています。また、基礎部には、電子基準点付属標と呼ばれる金属標が埋設しており、トータルステーション等を用いる測量にも利用できるようになっています。

下の図は、千葉県銚子市と長崎県福江市にある電子基準点間の距離の変化を3成分に分け記録したものです。東日本大震災以後も変化しています。



⑥電子基準点で何が分かる？

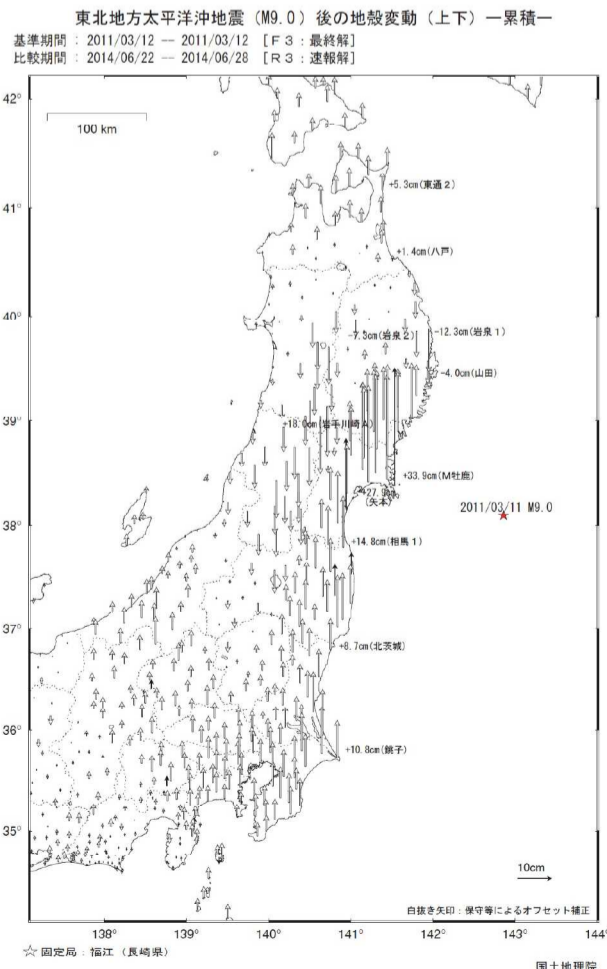
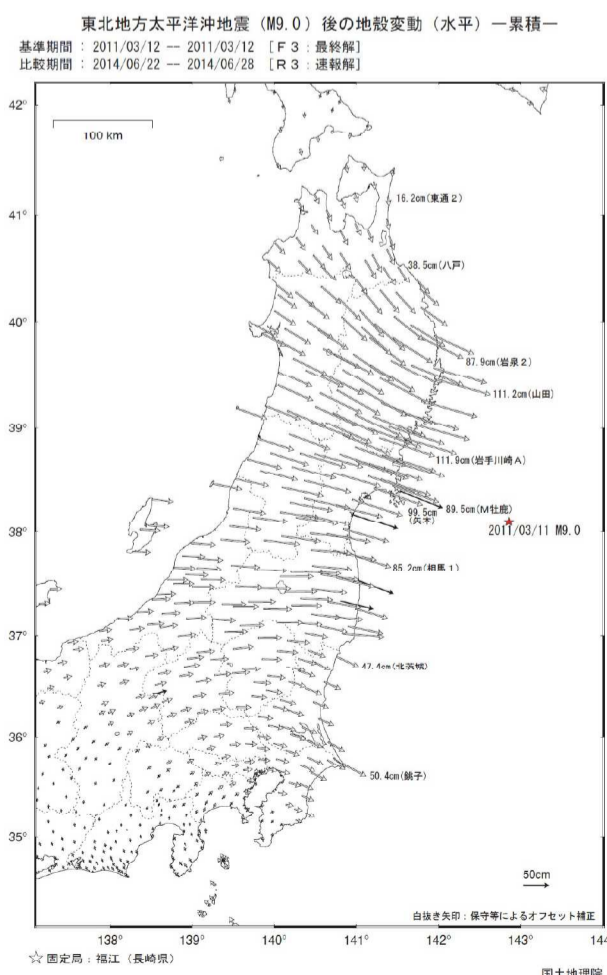
プレートの動きで徐々に溜まったひずみが、大地震の時には解放され大きく動きます。3年半前の東北地方太平洋沖地震では、震源に近い牡鹿半島の電子基準点が東南東方向に約5.3m移動し、約1.2m沈下しました。また、地震の後もこの地震の影響による変動が続いており、これまでの累積で、岩手県南部の川崎町では、さらに約1.1m東に移動し、牡鹿半島では約0.3m隆起しています（平成26年3月現在）。これらを余効変動^{よこうへんどう}と言います。



地震時の動き

平面の動き

垂直の動き

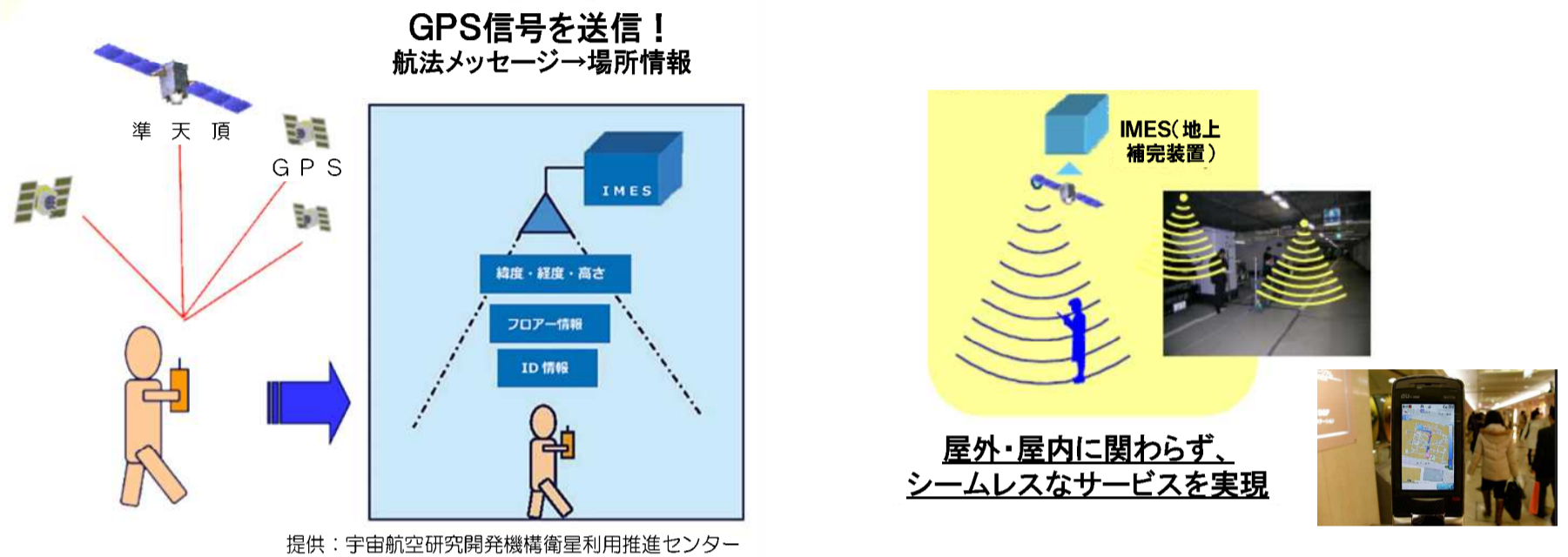


地震後3年3ヶ月間の動き

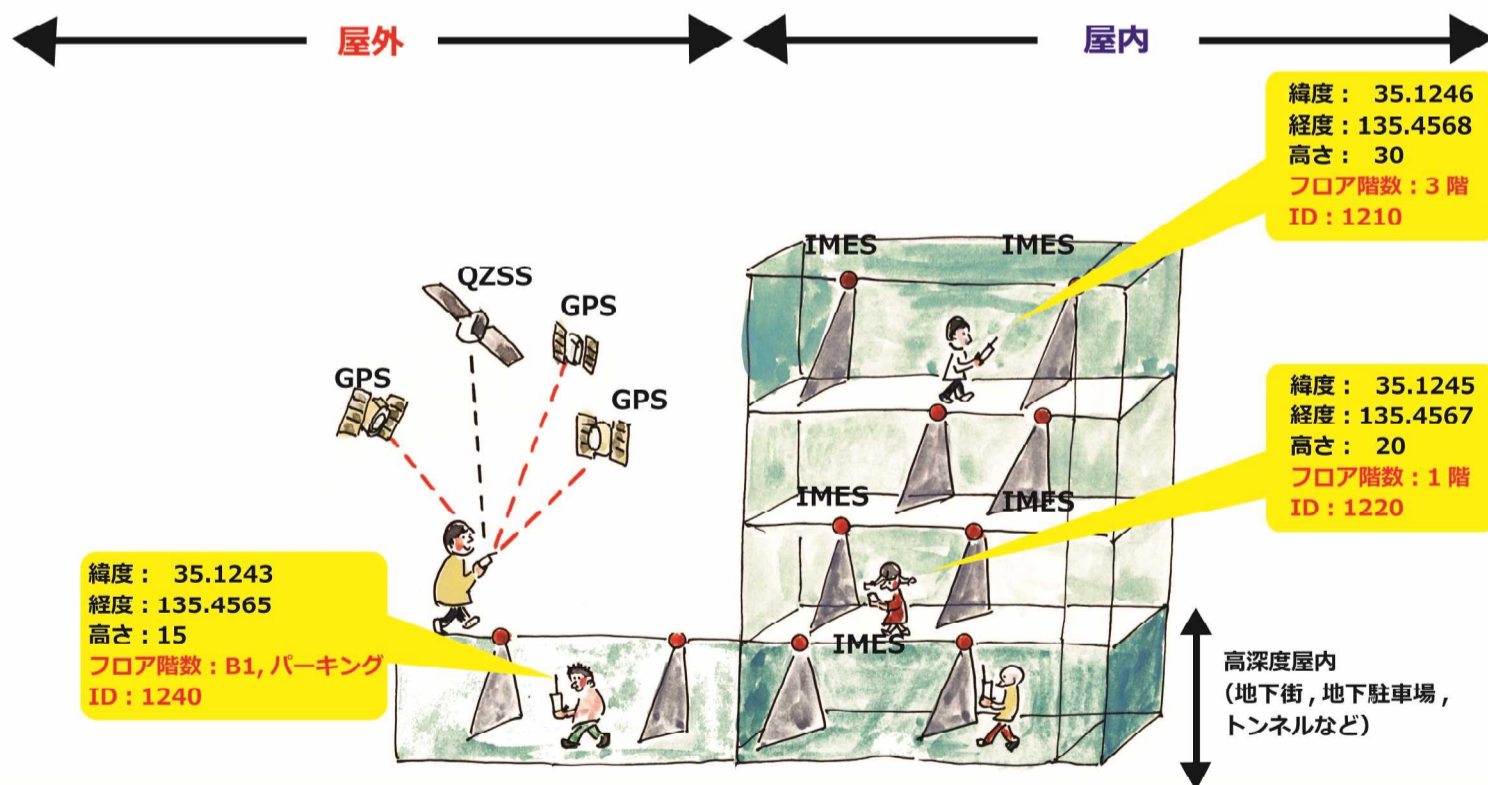
⑦地下や室内でもナビ!

GNSS受信機は上空にある人工衛星の電波を使っていますから、屋外でしか使えません。そこで、GPSと同じ信号を出すIMES (Indoor MESSaging System)装置を設置することで、スマートフォンなどのナビゲーションを屋内や地下でも使えるようになります。

現在、JAXAを中心に研究開発中で、平成21年12月から二子玉川ライズショッピングセンターなどで実証実験が行われています。



IMESの原理



IMESの概念図

IMESは、屋外から屋内へのシームレス化、緯度経度のほかフロアー情報とのマッチングや何階にいるかなどの情報も把握できます。技術的にはほぼ完成されており、地下街でのナビゲーション、室内での人や物の所在管理など各方面への利用が期待されています。

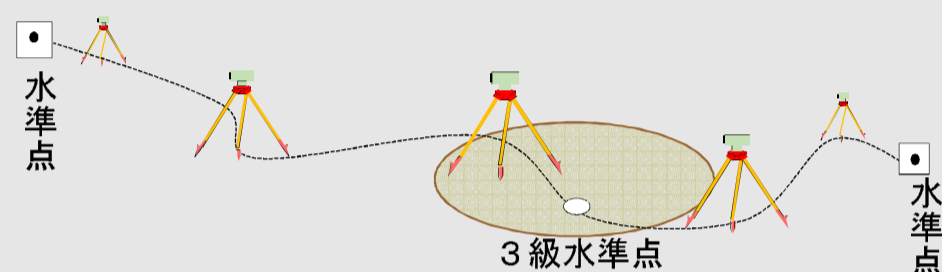
各フロアーに多数のIMESの設置が必要など、コスト面などでまだ課題が残っており、今後の技術開発などが期待されています。

⑧ 高さの測量がGNSSで？

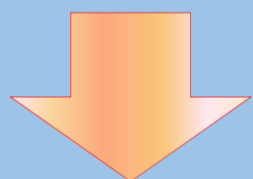
高さの測量は、これまで、標高の基準となる水準点から水準測量により行われていました。

作業エリアの近傍に標高の基準となる水準点がない場合は、時間をかけて遠方の水準点から水準測量を行っていました。しかし、電子基準点のデータを利用し、「GNSS測量による標高の測量マニュアル」を運用することにより、簡単に水準点を設置でき、作業経費も大幅に省力化になりました。

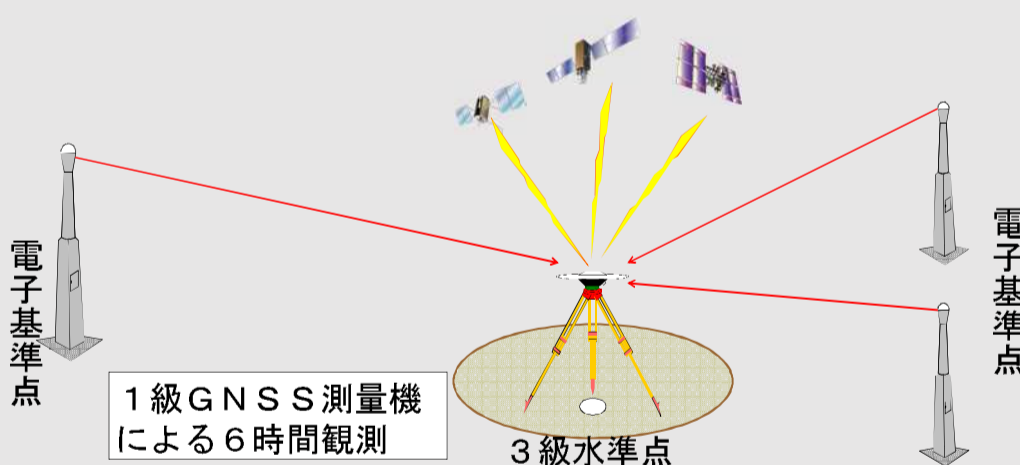
従来



水準測量



GNSSの効率的な利用



GNSS測量

特徴

- GNSS測量により、3級水準点を設置することができます。
- 近傍に水準点がなくとも、電子基準点の使用だけで3級水準点を設置することができます。
- 遠くの水準点から測量をする必要がなくなり、時間・経費を大幅に削減できます。

この作業方法の改訂は、⑨の電子基準点の利用方法も含め、平成24年11月にスマート・サーベイ・プロジェクト（SSP）として検討を進め、平成26年4月に「GNSS測量による標高の測量マニュアル」や「電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル」の改定を行い、公共測量業務に実際に使われてきています。

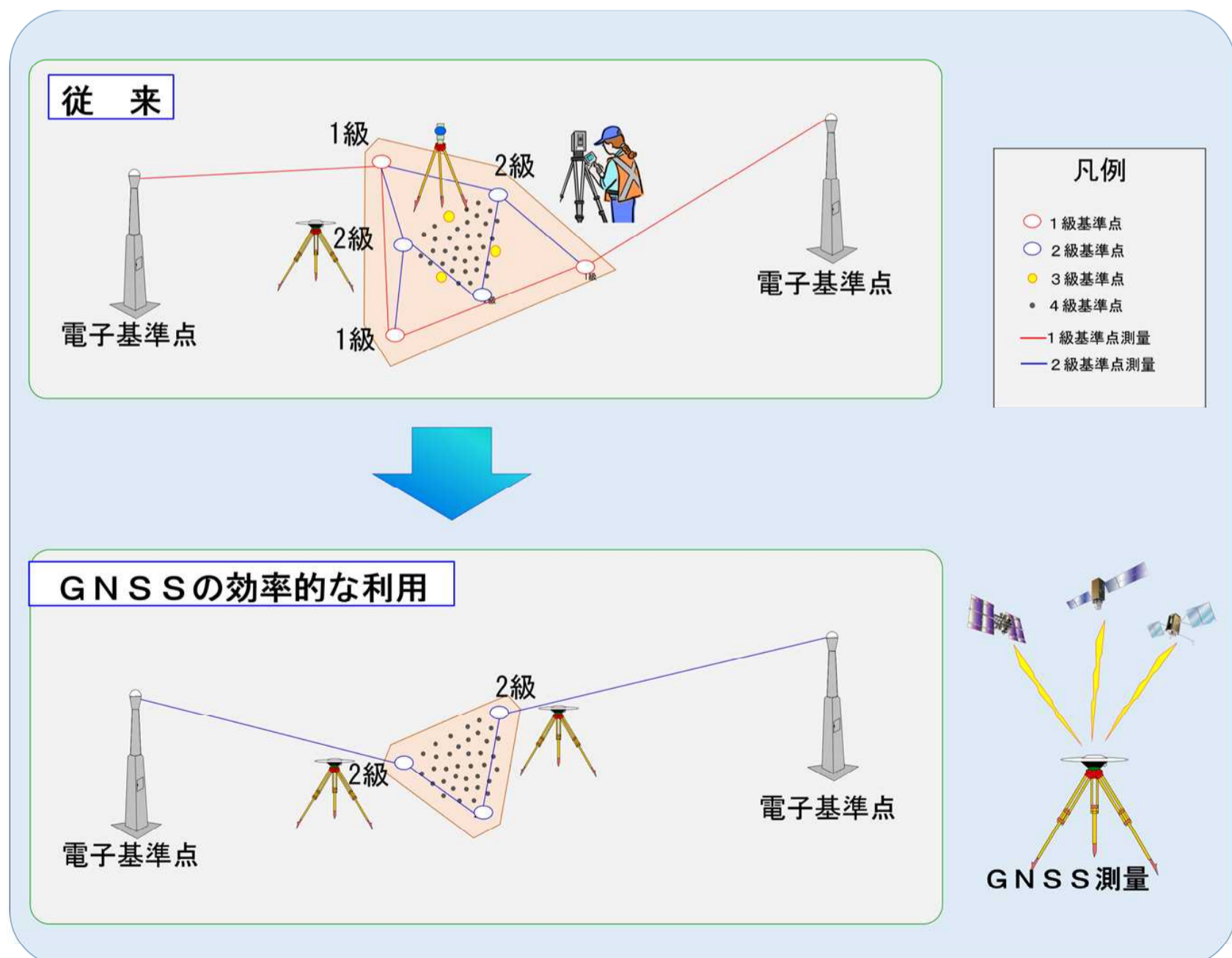
⑨ 電子基準点の利用だけで 基準点測量？

公共測量において電子基準点のみを既知点として利用できる基準点測量は、1級基準点測量のみでした。

このため、三角点等周囲の使用しにくい既知点を使用しなければならず、事前準備および観測に時間と経費を必要としました。

しかし、日本列島の定常的な地殻変動を補正するセミ・ダイナミック補正※を導入する「電子基準点のみを既知点とした基準点マニュアル」を運用することにより、電子基準点から直接2級基準点を設置できるようになりました。

これにより、2級基準点が必要な地域で、遠方にある電子基準点を効果的に使用することが可能となり、より低コストで効率的な基準点の設置を行うことができるようになりました。



※ セミ・ダイナミック補正

基準点の地殻変動による歪みの影響を補正します。