

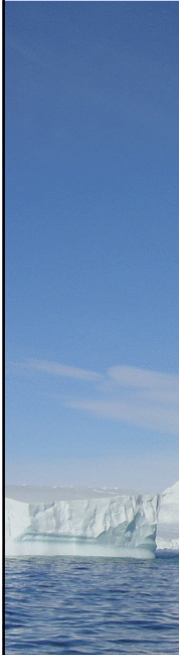
GPS反射波を利用した極域リモートセンシング

海老沼 拓史（東京海洋大学）

青山 雄一（国立極地研究所）

平成19年度 国立極地研究所研究集会

2008年3月31日



研究の背景



エルニーニョ
対流圏での水蒸気分布
グローバルな水蒸気循環
赤道域での積雲対流

地球温暖化
氷床の融解
海洋循環の変化
グローバルな気候変動



森林破壊
土壌の砂漠化
水循環の動態把握
水資源確保

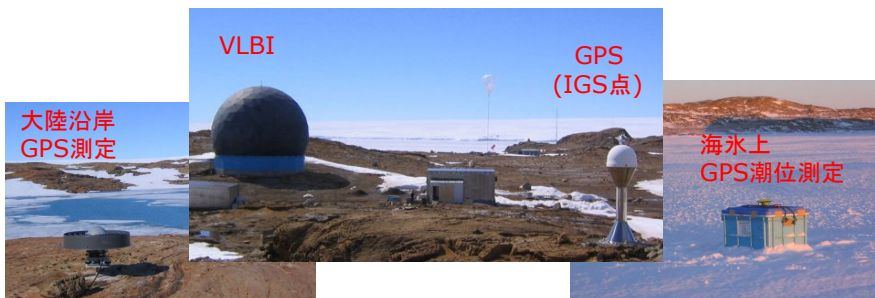
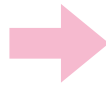
地球温暖化など、グローバルな環境変動を予測する上で、地球上の90%以上の淡水を保有する南極氷床の正確な情報が不可欠である。

国立極地研究所による極域観測

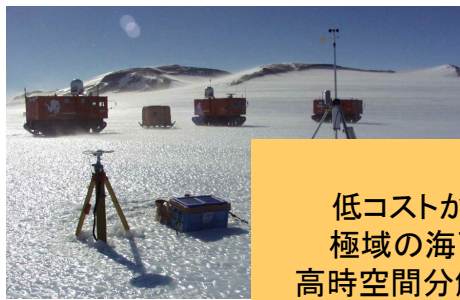
昭和基地周辺での極域固体地球物理現象モニタリング

短周期及び広帯域地震計による観測
 VLBI観測
 IGS網-GPS点の維持
 超伝導重力計による重力連続観測
 船上固体地球物理観測
 海洋水位変動観測及び海底圧力計観測
 ICESATレーザー高度計検証のための雪尺測定
 海氷上でのGPS潮位変化測定

氷床変動に伴う地殻変動の検出
 氷床の流動速度の測定
 氷床流動に伴う氷震などの検出
 氷床の質量分布変動による重力場変化の検出
 海面高変化や南極周回流の観測
 にも活用可能



これまでの極域観測



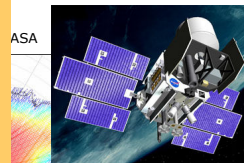
地上観測

GPS測定
 氷床高度、氷床流動速
【問題点】
 観測対象地域へのアクセスが困難
 (観測場所と時期が制約される)

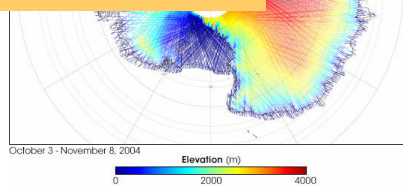
衛星観測(レーザー・レーザー高度計)
 氷床高度、海面・海水高度
【問題点】
 • 通常の地球観測衛星(軌道傾斜角70度程度)では、極域は観測されない。
 • 極軌道でも、1基の衛星観測だけでは時空間分解能が低い

天候(雲)により観測

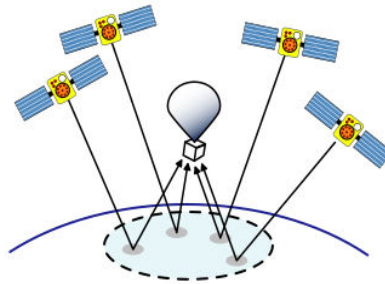
低コストかつ全天候型で
 極域の海面・氷床高度を
 高時空間分解能で計測できる
 衛星観測ミッション
 あるいは航空機観測が必要



ICESat:
 傾斜角: 96度
 高度: 590km
 消費電力: 350W

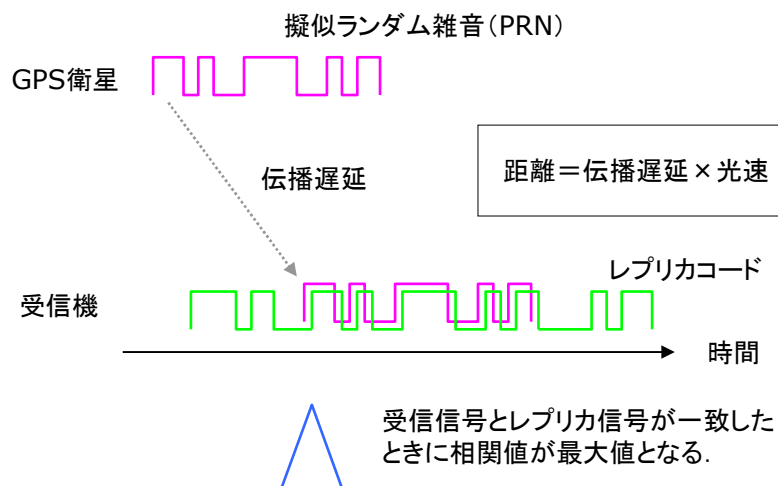


GPS反射波による極域観測

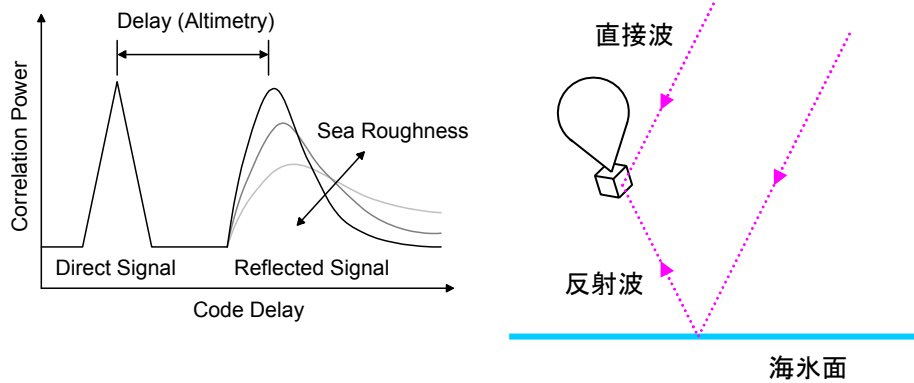


- 海面などで反射したGPS信号を用いたリモートセンシング手法.
- 従来の地球観測システムとは違い送信機を必要とせず, しかも一度に複数点の観測を行うことができる.

GPS信号の受信



GPS反射波から得られる情報



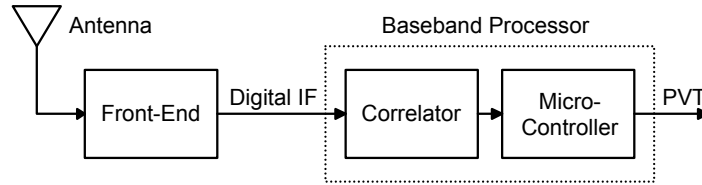
- 反射波のコード相関波形
 - 反射面の状態に関係しており、反射海面の波浪などの推定が可能である。
- 直接波に対する反射波の遅延
 - 海面から受信機までの距離に関係しており、海面または水床高度の測定に利用できる。

GPS反射波観測用受信機

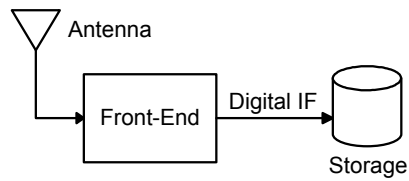
- GPS反射波観測はパッシブなシステムであるため、センサーの小型化・省電力化が期待できる。
- 市販のGPS受信機は1アンテナ入力しか持たず、直接波と反射波を同時に処理することはできない。
- GPS反射波観測用受信機と信号処理ソフトウェアを独自に開発する必要がある。

ソフトウェアGPS受信機

一般的なGPS受信機の構成



ソフトウェアGPS受信機の構成



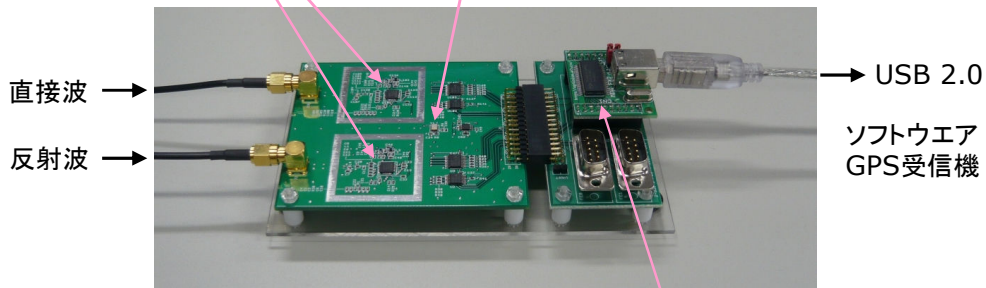
- デジタル化されたIF信号はPCに保存され後処理される
- すべてのデジタル信号処理をソフトウェアで実現
- ハードウェアの依存を最小限に留め自由度の高い信号処理アルゴリズムの開発が可能

受信機ハードウェア

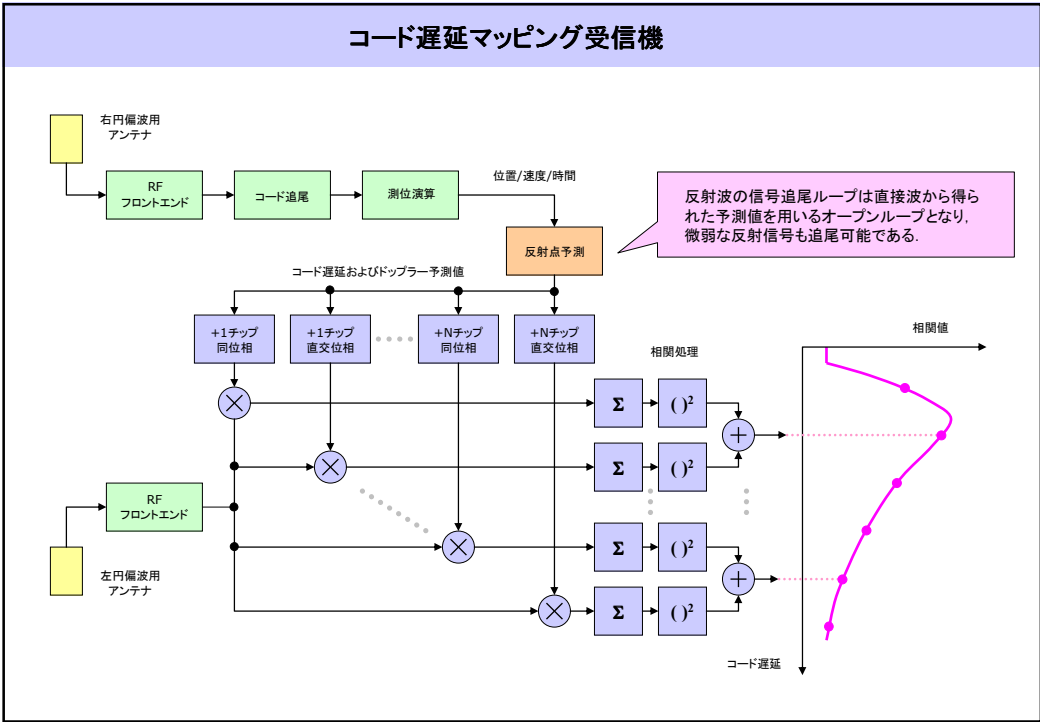
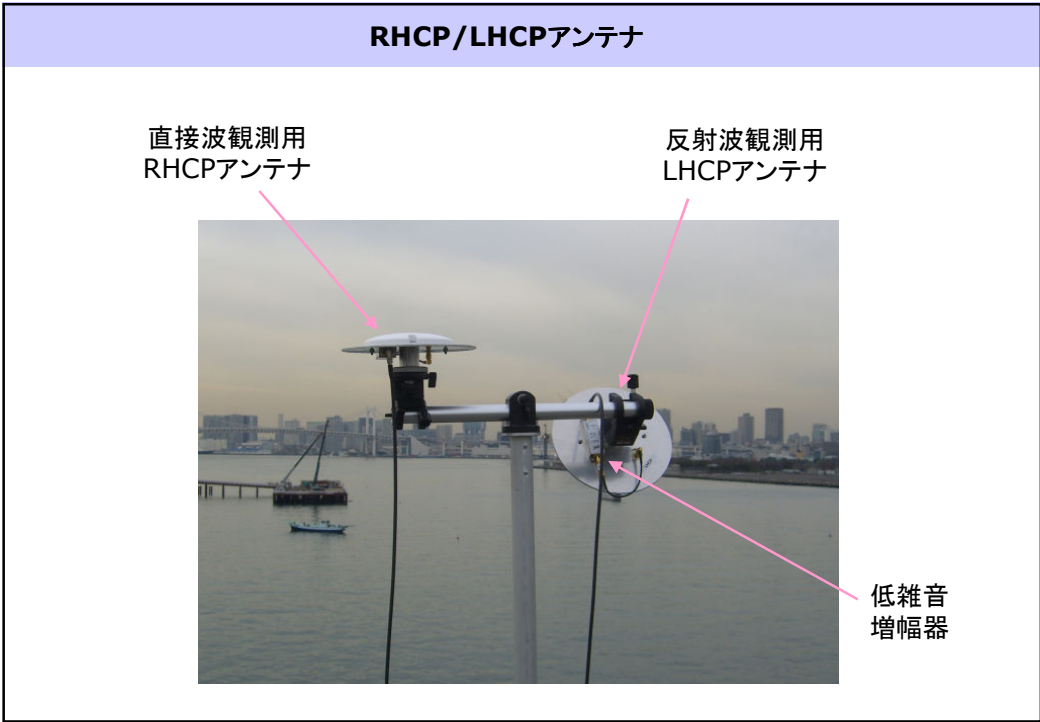
MAX2741 GPS Front-End

中間周波数: 3.78MHz
 サンプル周波数: 16.8MHz
 ADC: 2-bit

基準クロックはフロントエンド間で共通



Cypress EZ-USB FX2 USB 2.0
 転送レート: Maximum 36MB/s



地上からの GPS 反射波観測

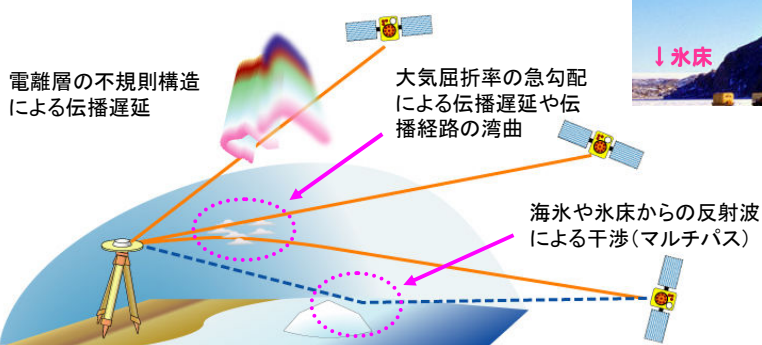


- 隅田川河口に架設されている相生(あいおい)橋から海面高度の計測
- レーザー距離計と同程度(30cm)の精度を確認



第48次越冬隊観測計画

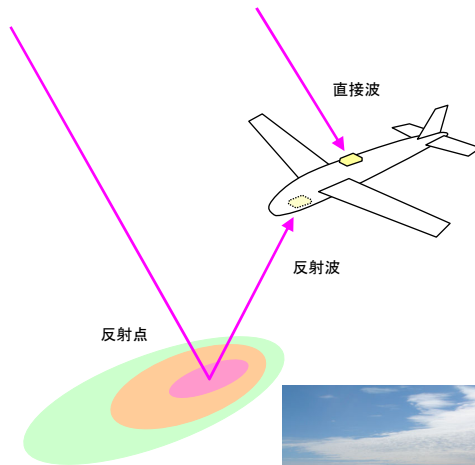
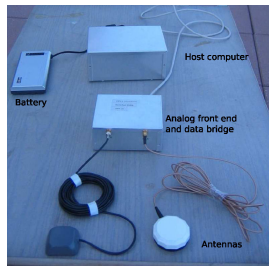
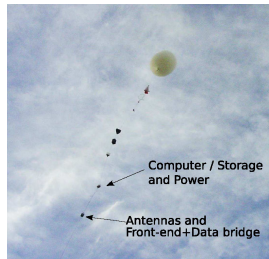
高精度なGPS測位を実現するための測位誤差源観測の一環として、電離層遅延、GPS反射波、GPS掩蔽の観測を行う。



GPS反射波・GPS掩蔽観測地点



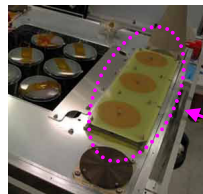
航空機による GPS 反射波観測



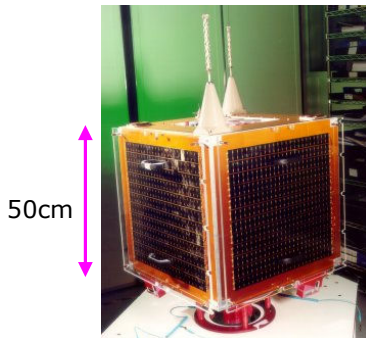
S. Esterhuizen, *et al.*, "The Design and Construction of a Modular GPS Bistatic Radar Software Receiver for Small Platforms", 2006.

小型地球観測衛星による GPS 反射波の観測

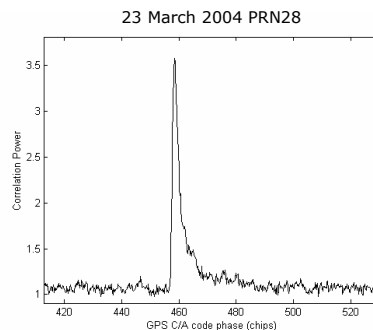
2004年にSSTLによって打ち上げられた小型衛星であるUK-DMCには、GPS反射波観測用の専用受信機が搭載された。



GPS反射波観測用に搭載された高ゲインアンテナ



Courtesy of SSTL



S. Gleason, *et al.*, "Sensing Ocean, Ice and Land Reflected Signals from Space: Results from the UK-DMC GPS Reflectometry Experiment", 2005.

今後の計画

2007

2008

2009

Future



© SSTL

- GPS反射波観測用ソフトウェア受信機の開発
- 海面・氷床表面からのGPS反射波取得および解析
- 自律型無人飛行機でのGPS反射波取得
- 小型なデータ取得装置の開発
- 専用マルチアンテナ受信機の開発
- 反射点を追尾するためのアンテナ技術
- オンボードでのリアルタイム処理技術
- 超小型衛星によるGPS反射波取得

まとめ

- グローバルな地球環境変動の予測に極域観測は不可欠である。
- 小型で省電力なGPS受信機だけで構成できるGPS反射波センサーは、超小型衛星のアプリケーションとして非常に魅力的である。
- 複数の超小型衛星により、これまでになく高時間分解能の観測システムが構築できる。
- 航空機または超小型衛星群による広域かつ継続的な極域観測システムの実現が期待される。