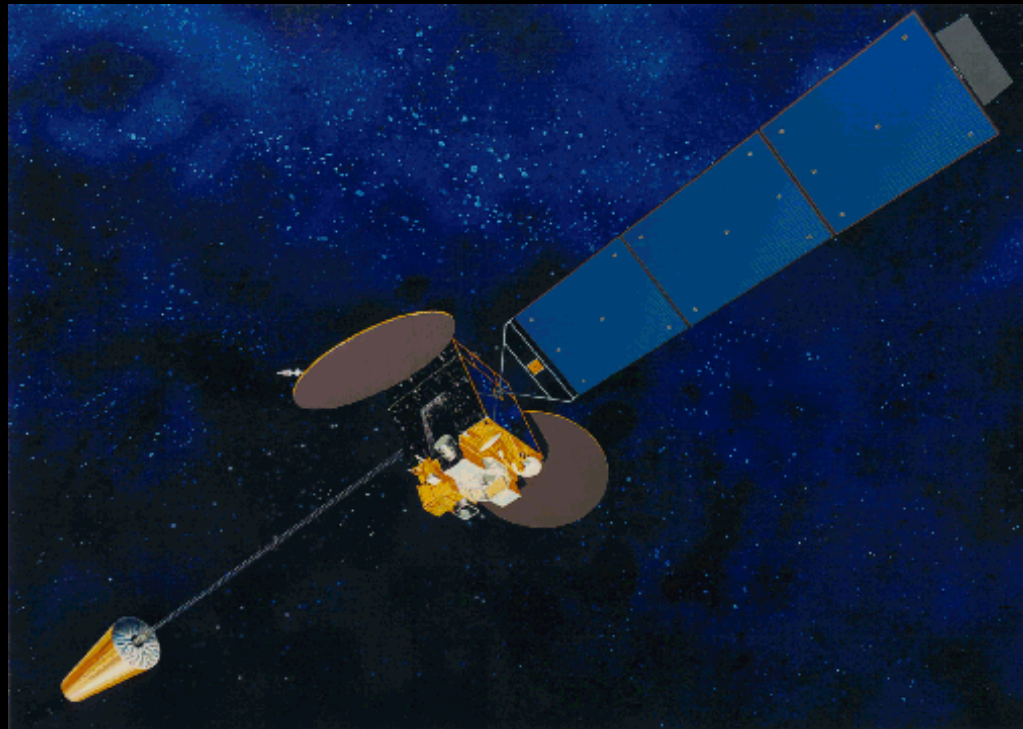


17. MSASのアベイラビリティ向上



坂井 文泰 松永 圭左 星野尾 一明
通信・航法・監視領域

Introduction

- MSAS(運輸多目的衛星用衛星航法補強システム)は、実用に向けて試験中：
 - MTSAT-1R/2(ひまわり6/7号)の2機体制。
 - インテグリティ(完全性)を備えた衛星航法システム。
- MSASのアベイラビリティ(有効性)：
 - NPA(非精密進入)航法モードまでは十分に利用可能。
 - APV(垂直誘導付き進入)航法モードでは、アベイラビリティの向上が課題。
- 電離層遅延補正の修正方式：
 - アベイラビリティを阻害している最大の要因は電離層。
 - プロテクションレベルを抑制できる電離層遅延補正方式を検討した。
 - プロトタイプSBASに実装したうえで検討・評価した結果、磁気嵐の際のプロテクションレベルを1/3程度に抑制できる見通しを得た。

MSASの状況

- 航空局が整備中の静止衛星による広域補強システム（ICAO SBAS）。
- 昨年2月に運輸多目的衛星（MTSAT-1R＝ひまわり6号；PRN129）をH-IIAロケットで打上げ。
- 現在、東経140度の静止軌道上で試験中。気象ミッションはすでに運用中。
- 試験信号を随時放送しており、対応受信機があればSBAS補強メッセージを受信可能（放送予定は神戸航空衛星センタHPに掲載；<http://www.kasc.go.jp/MSAS/index.html>）。
- 2月18日に2号機（MTSAT-2＝ひまわり7号；PRN137）を打ち上げた。2機体制による正式運用を来春に予定。

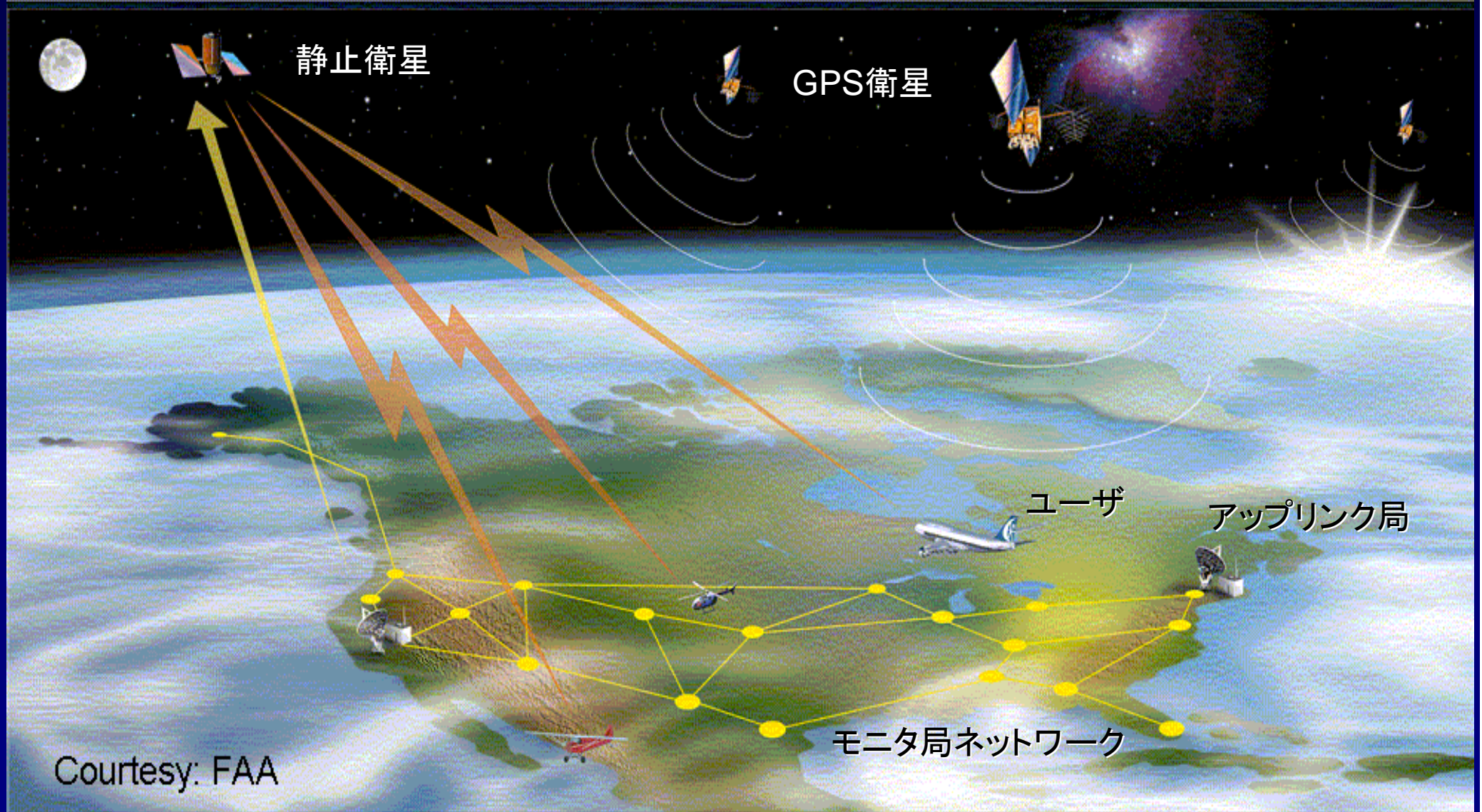


(Photo: RSC)

MSAS/SBASとは

- ICAO(国際民間航空機関)が規格化した広域ディファレンシャルGPS方式による補強システム:
 - 補正(補強)情報は静止衛星から放送。
 - 大陸規模の広い地域で有効な補正情報。
 - インテグリティ機能を有し、航空機の航法用途に使用可能。
 - GPSと同一のアンテナ・受信回路でディファレンシャル補正情報やインテグリティ情報が得られる。
- 開発／運用中のSBAS:
 - 米国WAAS 2003年7月より運用中。
 - 欧州EGNOS 2005年7月より試験運用中。
 - 日本MSAS MTSAT-1R/2を使用して試験中。
2007年春頃より運用開始予定。
 - カナダCWAAS WAASをカナダにも拡張中のもの。
 - インドGAGAN 電離層補正に重点を置いて開発中。

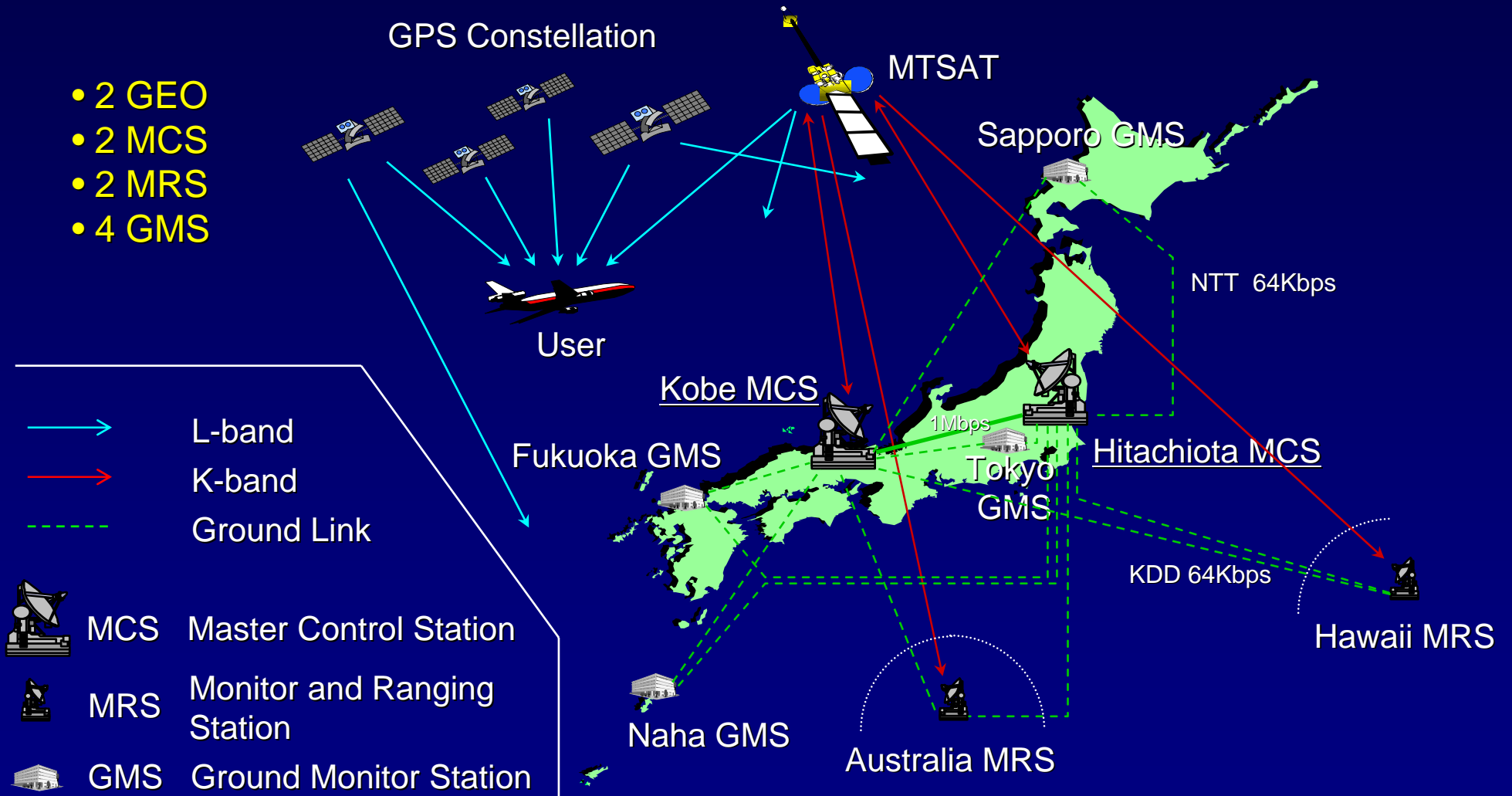
SBASの仕組み



Courtesy: FAA

MSASの全体構成

- 2 GEO
- 2 MCS
- 2 MRS
- 4 GMS



SBASの機能

インテグリティ・チャンネル

- 航法出力のインテグリティ(完全性)を確保する機能。
- プロテクションレベル(測位誤差の上限の見積り;危険率 10^{-7})を計算するための情報。実際の測位誤差がプロテクションレベルを超える確率は 10^{-7} 以下。
- 航法モードにより、プロテクションレベルの上限(アラートリミット)が決まる。プロテクションレベルがアラートリミットを超えた場合、その航法モードは使用不可。

ディファレンシャル補正

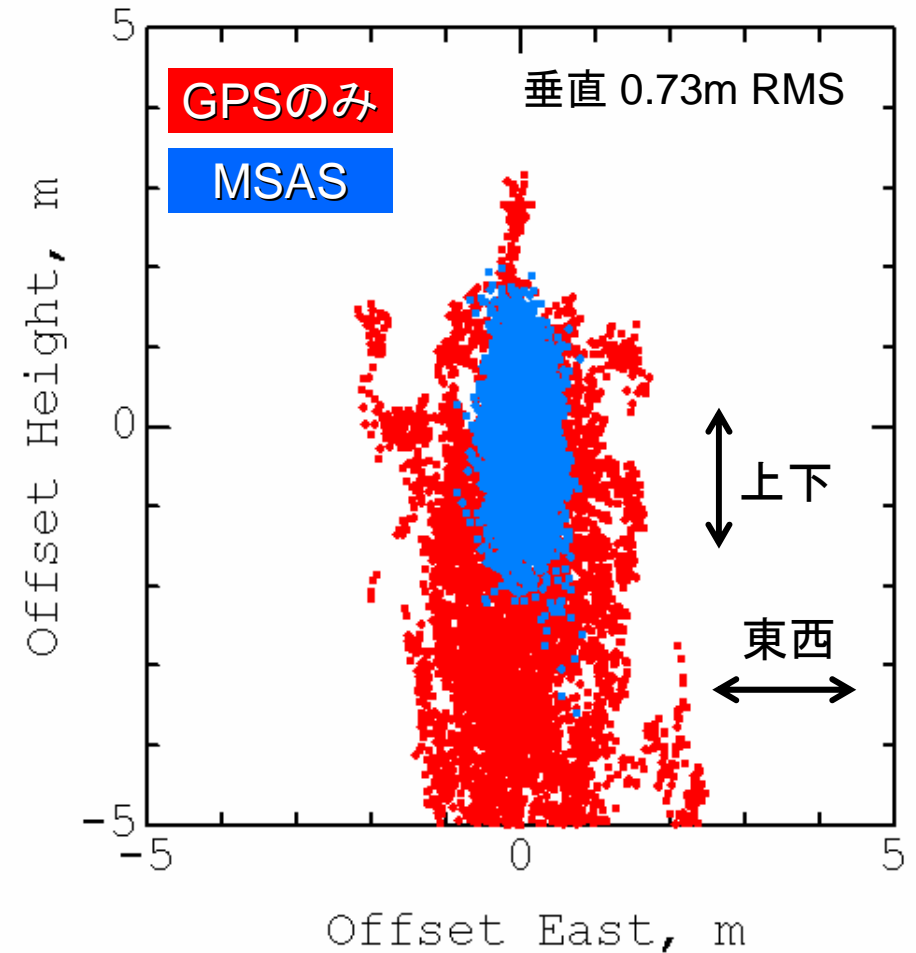
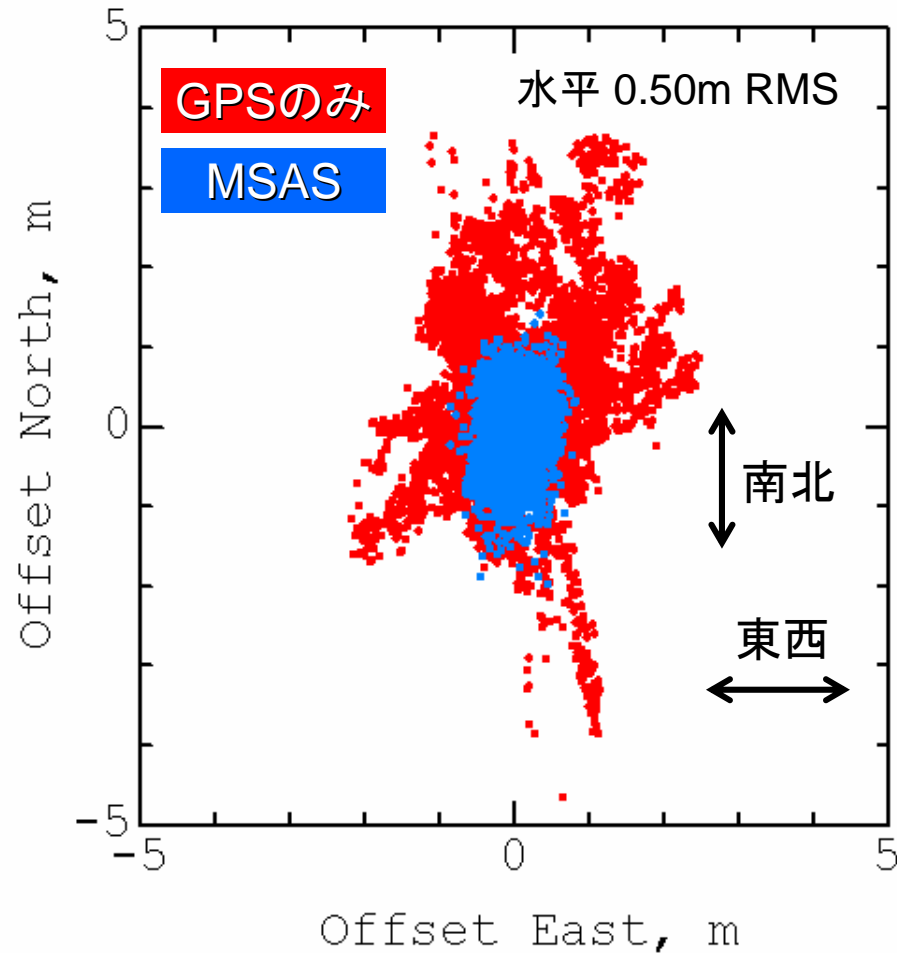
(いわゆるDGPSはこれのみ)

- 航法出力の位置精度を向上させる機能。
- 広域ディファレンシャル方式: GPS衛星の軌道・クロック誤差や電離層遅延量を補正するための情報を放送する。

測距信号

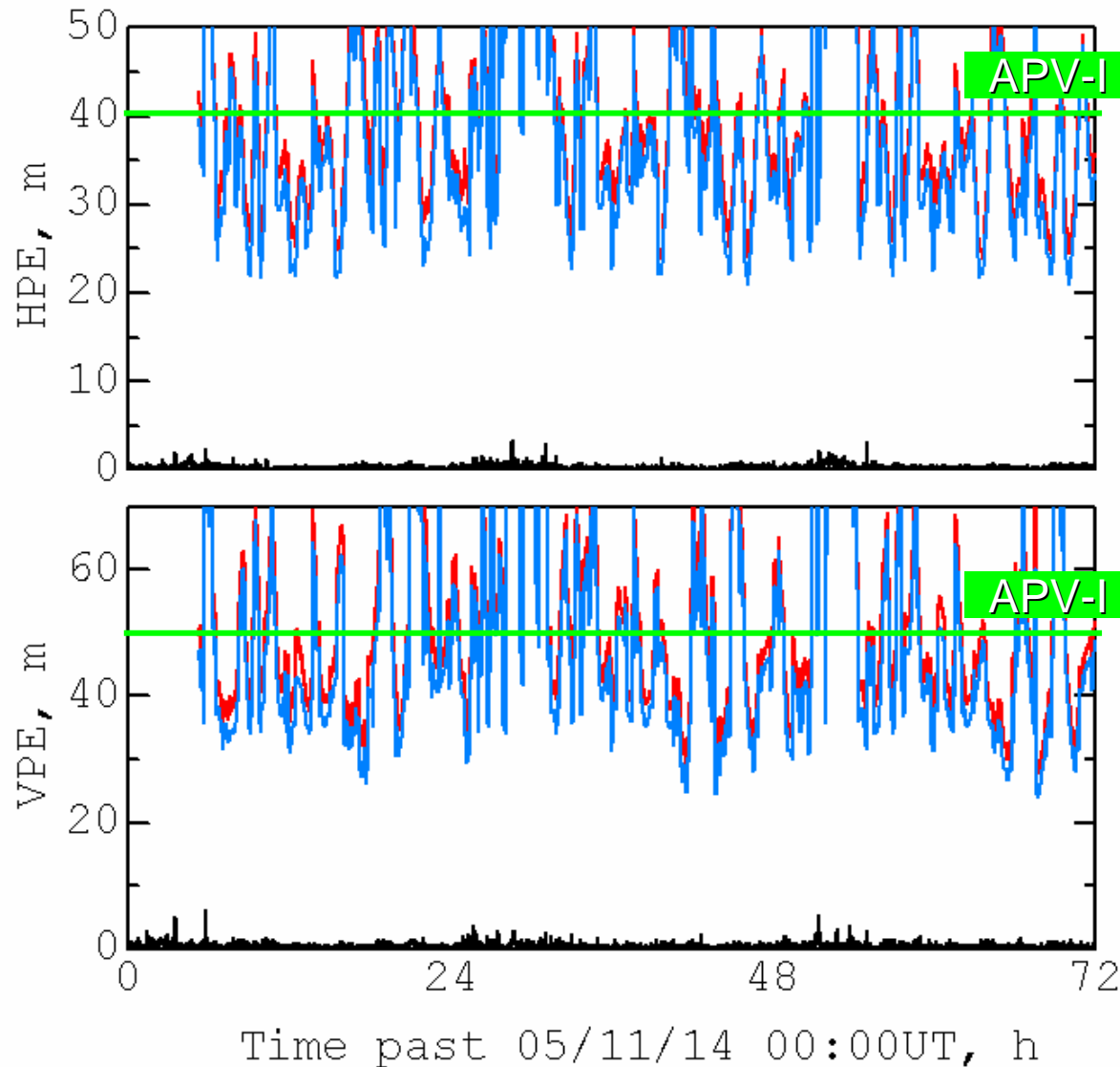
- 航法システムのアベイラビリティ(有効性)を改善する機能。
- SBAS衛星からGPSと同様の測距信号を放送することで、利用可能な航法衛星を増加させる。

ユーザ測位誤差の例



GEONET 940058(高山) 05/11/14-16
PRN129 (MTSAT-1R) Test Signal

プロテクションレベルの例(静穏時)

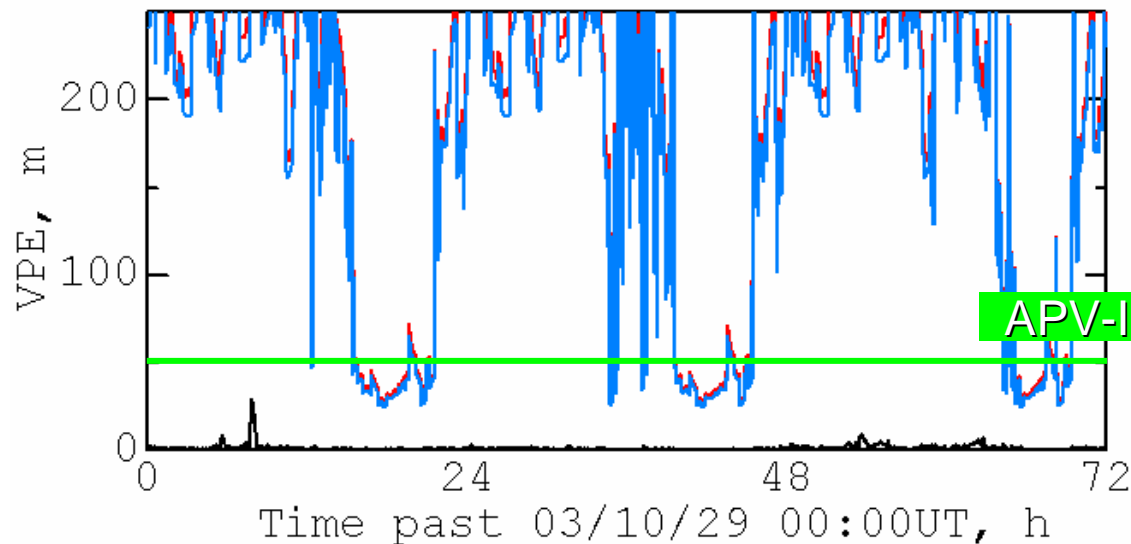
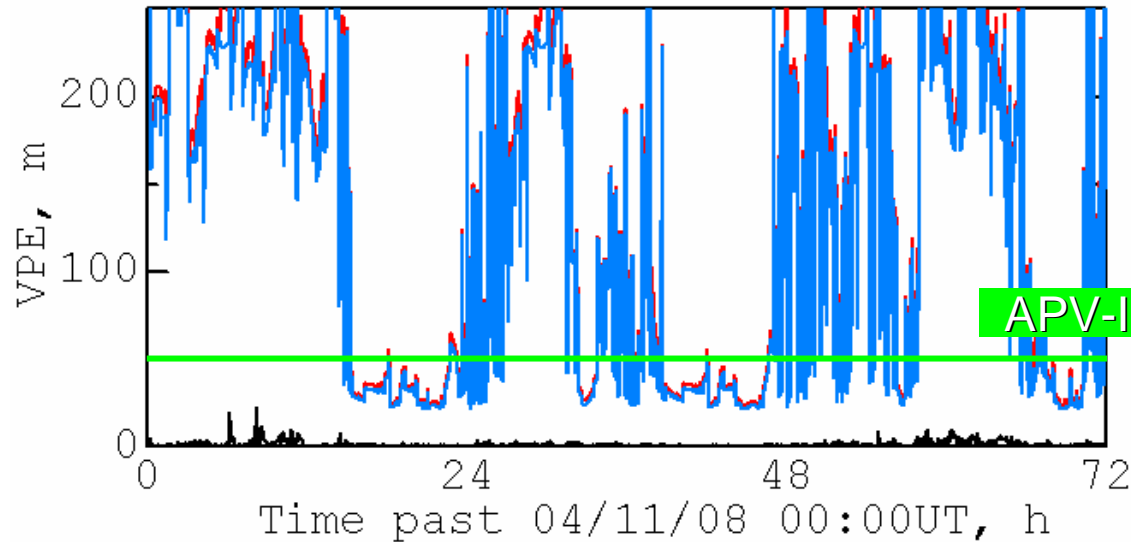


- プロテクションレベル
- 電離層による成分
- ユーザ測位誤差

- 佐多(950491)におけるユーザ測位誤差とプロテクションレベル。
- 大きなマージンをもってユーザ測位誤差を抑えている。
- プロテクションレベルの大部分は電離層による成分。

GEONET 950491 (佐多)
05/11/14-16
MTSAT-1R Test Signal

プロテクションレベルの例(磁気嵐)



- プロテクションレベル
- 電離層による成分
- ユーザ測位誤差

- 佐多(950491)におけるユーザ測位誤差とプロテクションレベル。
- 極端に大きなプロテクションレベルを生じている。
- インテグリティ上の問題はないが、**アベイラビリティが上がらない**(夜間～早朝、3割くらい?)。

GEONET 950491 (佐多)
03/10/29-31 & 04/11/08-10
Prototype SBAS PT/6+S

MSASのアベイラビリティ

- 定義:「システムが利用可能な確率」
 - 航法システムが所定の性能を発揮している時間割合。
 - 場所や時間帯により異なる。
 - 航法モードによっても異なる。たとえば、APV航法モードでは高い精度(確実な測位)が求められるが、NPA航法モードでは必ずしもそうではなく、垂直方向については要求そのものがない。
 - 航法モードにより、99~99.999%のアベイラビリティが求められている。
- 具体的には:
 - 「プロテクションレベルがアラートリミットより小さな」時間割合。
 - MSAS受信機は、計算して求めたプロテクションレベルがアラートリミットを超えた場合、その航法モードを使用不可とする。
 - アラートリミットは航法モードによりあらかじめ決められている:NPAモード=556m(水平)、APV-Iモード=40m(水平)/50m(垂直)。

アベイラビリティの性質

- MSASが利用可能かどうかは、**プロテクションレベルで決まる**：
 - プロテクションレベル: ユーザ測位誤差の最大値の見積り。
 - 測位精度がどんなに良くても、プロテクションレベルがアラートリミット以下でなければMSASは利用可能ではない(測位誤差は未知だから)。
 - アベイラビリティを改善する手段は、**プロテクションレベルを小さくする以外にはない**。
- MSASのアベイラビリティを向上するには：
 - 測位精度は十分に良いが、プロテクションレベルが大きめとなる傾向。
 - 全体的な測位精度の向上を図る必要はない。
 - プロテクションレベルが大きめになる原因である、「**大きな誤差を生じる可能性(脅威)**」を抑制する必要がある。
 - 最大の問題は、**電離層伝搬遅延の予測の難しさ**にある。予測が不完全なため、プロテクションレベルを大きめにせざるを得ない。

GIVE値の分布

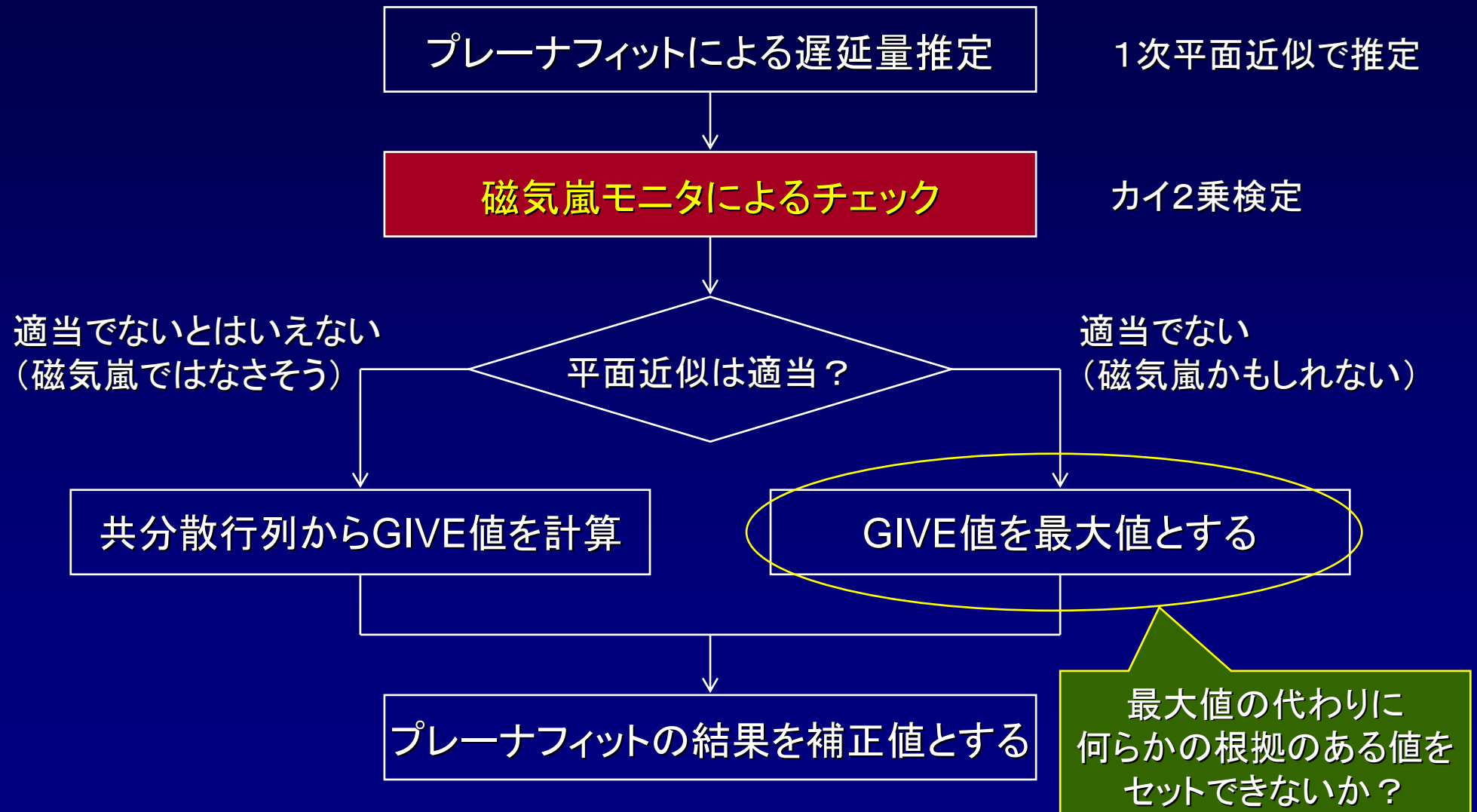
割合



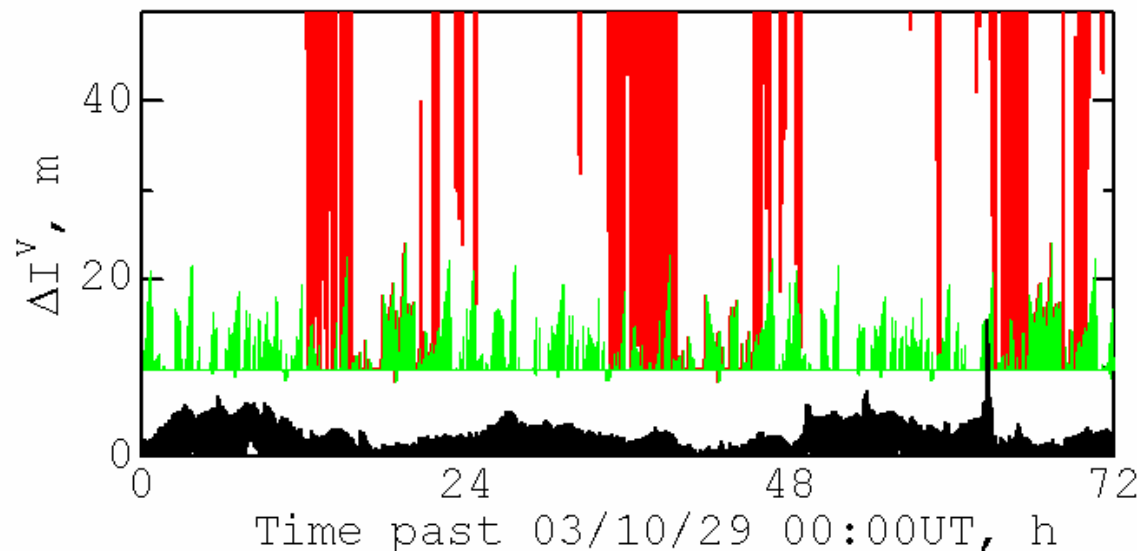
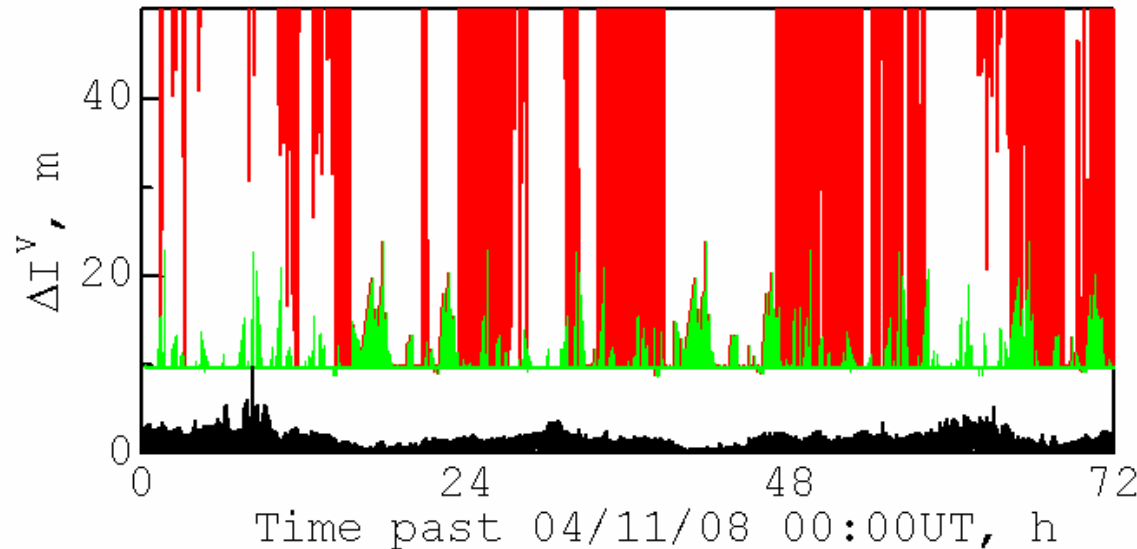
GIVEI	σ_{GIVE}
0	0.092 m
1	0.182 m
:	:
10	1.094 m
11	1.368 m
12	1.824 m
13	4.559 m
14	13.68 m
15	Not Monitored

- GIVE: 電離層遅延量の不確実性を表すインテグリティ情報。
- MSASが放送している全IGPにおけるGIVE値の分布(05/11/14-16)。
- MSASでは、GIVEI=0~11が使われていない: 不確実性が大きい。

現行の電離層遅延補正方式



電離層成分と実際の残差 (磁気嵐)



- 5.33 UIVE (磁気嵐モニタあり)
- 5.33 UIVE (磁気嵐モニタなし)
- 電離層遅延補正残差

- UIVEはGIVEから内挿して求める値で、IPP位置における不確実性を表す。
- 5.33 UIVEが、プロテクションレベルのうちの電離層による成分に相当する。
- 昼間の大きなUIVEは、磁気嵐モニタによることがわかる。

GEONET 950491 (佐多)
03/10/29-31 & 04/11/08-10
Prototype SBAS PT/6+S

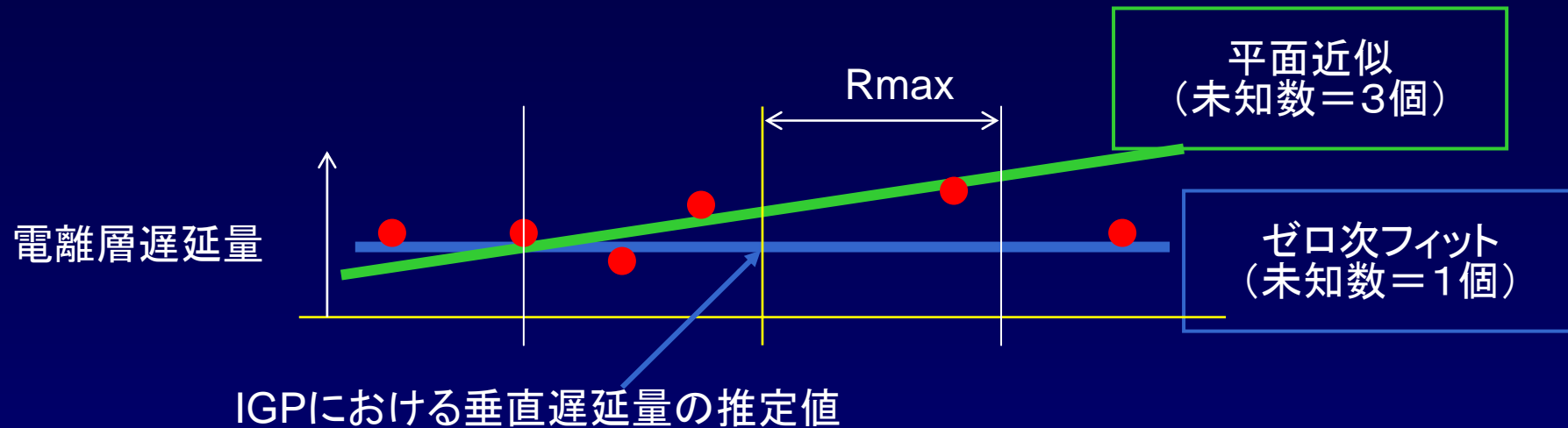
電離層遅延補正方式の変更

- プロテクションレベルの大部分は電離層に起因：
 - プロテクションレベルの抑制には電離層補正方式の改良が不可欠。
- マージンが大きい：
 - 磁気嵐の場合でも測位誤差の最大値は40m前後：プロテクションレベル（100m以上になる）は現実の性能よりかなり悲観的。
 - 磁気嵐モニタ：磁気嵐の可能性がある場合、GIVEに最大値をセット。
 - 磁気嵐の場合にプロテクションレベルが大きくなる原因は、磁気嵐モニタにある。
- 修正アルゴリズムの検討：
 - GIVEに最大値をセットする代わりに何かできないか。
 - 通常は現行と同じプレーナフィット。磁気嵐モニタが嵐と判定した場合は、代替アルゴリズムを使うことを考える。
 - 当所で開発したプロトタイプSBASを使用して検討・評価。

プロトタイプSBAS

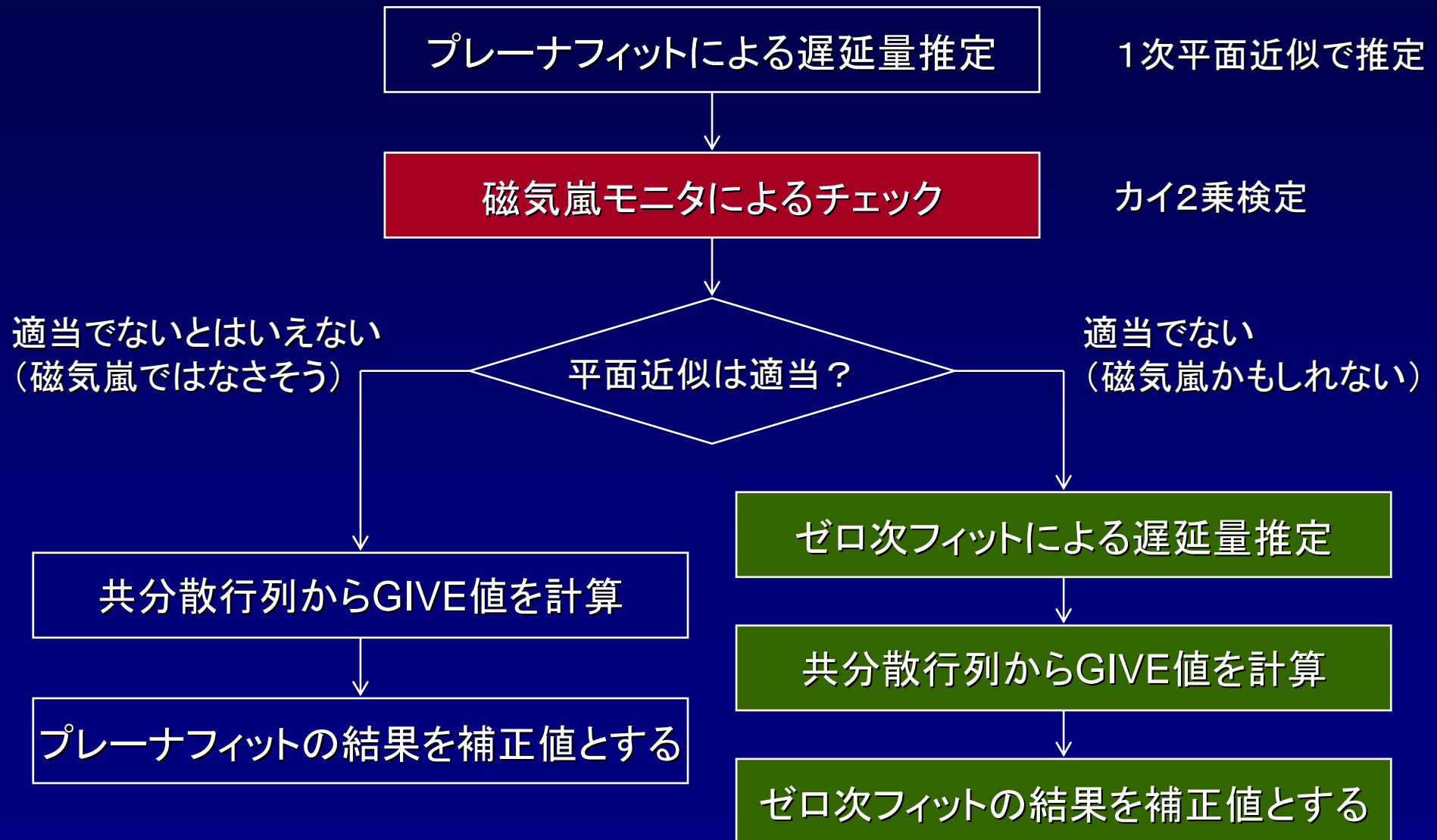
- SBASのプロトタイプを試作した：
 - PC/UNIX上で動作するソフトウェア。
 - 国土地理院GEONETの観測データ(30秒サンプルRINEX)を利用して、完全なSBAS補強メッセージを每秒生成する。
 - オフラインモードで試験：良好な測位精度(0.3~1m程度)。精度・プロテクションレベルともMSASと大差ない。
 - MSASの研究開発用テストベッドとして利用可能。補強情報生成アルゴリズムやパラメータをさまざまに変えて、性能を調べることができる。
- ユーザ受信機シミュレータ：
 - SBASメッセージを処理し、測位誤差やプロテクションレベルを出力する。
 - 観測データとして任意のRINEXファイルを入力。
 - GEONETを利用すると、国内の任意の地点におけるSBASの補強性能を評価できる。全国にわたり評価することも可能。
 - MSASあるいはプロトタイプSBASの性能評価に利用。

ゼロ次フィット

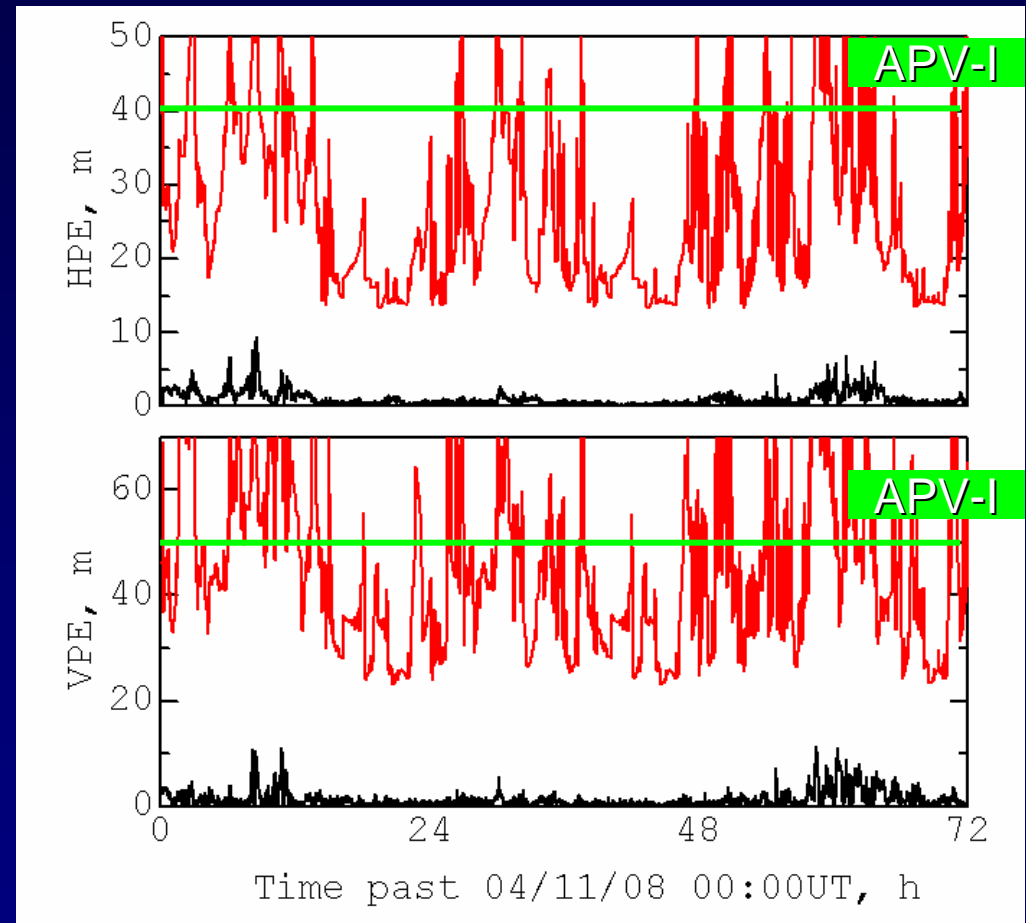
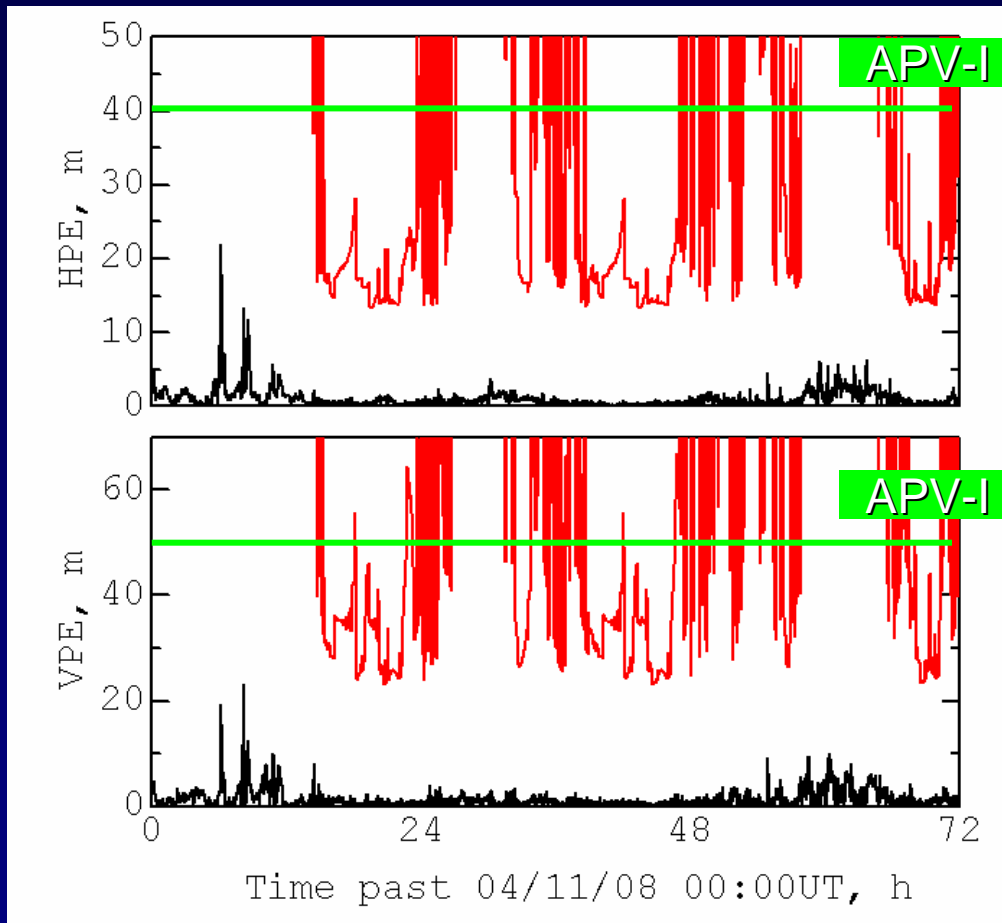


- 磁気嵐モニタが磁気嵐状態と判定した場合：平面モデル(1次近似)は現実の電離層遅延量分布に当てはまらない。
- このような場合、1次に代えて**ゼロ次の近似が有効な可能性**がある：
 - 次数を落とした、よりロバスト(安定)な推定。
 - 推定すべき未知パラメータは1個ですむ(重み付き平均と等価)。
- 磁気嵐モニタが磁気嵐状態と判定したか、あるいは観測データ数が不足する場合(プレーナフィットが実行できない場合)に適用。

修正した電離層遅延補正方式



プロテクションレベルの変化



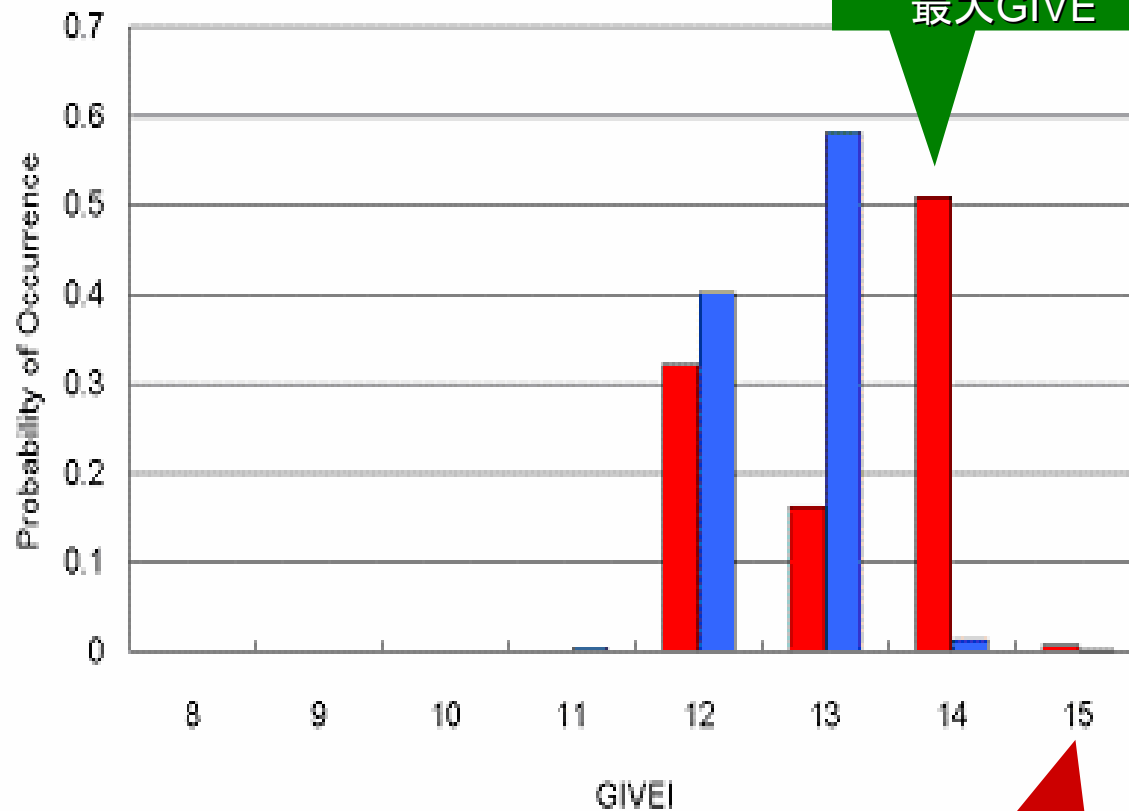
現行アルゴリズム

- プロテクションレベルを約1/3に抑制:アベイラビリティを改善。
- ユーザ測位誤差は依然として十分に余裕をもってバウンドされている。

改良アルゴリズム

GIVE値の低減

GIVEI = 14
最大GIVE



■ 現行アルゴリズム
■ 改良アルゴリズム

- 現行アルゴリズムでは、半数のIGPについて最大GIVE値を設定 (GIVEI=14)。
- 修正アルゴリズムはこれを GIVEI=13に削減している。

GIVEI = 15
Not Monitored

プロテクションレベルの抑制

Site		2004/11/8-10		2003/10/29-31	
		水平	垂直	水平	垂直
940030 男鹿	現行方式	101.3	152.7	127.7	181.6
	修正方式	27.31	41.83	32.73	48.88
93101 御前崎	現行方式	86.78	140.4	120.9	183.1
	修正方式	23.20	36.79	30.29	46.18
940058 高山	現行方式	91.61	146.0	191.0	231.3
	修正方式	22.93	37.36	31.32	47.87
940083 高知	現行方式	89.76	154.0	152.5	249.5
	修正方式	24.69	41.05	40.14	61.95
950491 佐多	現行方式	100.6	167.7	144.0	229.7
	修正方式	29.73	48.65	41.13	64.01
92003 父島	現行方式	109.5	188.6	129.4	216.9
	修正方式	38.26	65.21	44.01	73.00

- 磁気嵐の時期におけるプロテクションレベル。
- プロトタイプSBASによる出力値。
- 修正アルゴリズムにより、プロテクションレベルが1/3程度に削減されている。

GEONET
03/10/29-31 & 04/11/08-10
Prototype SBAS PT/6+SAT

アベイラビリティの向上

Site		NPA アベイラビリティ		APV-I アベイラビリティ	
		2004/11/8-10	2003/10/29-31	2004/11/8-10	2003/10/29-31
940030 男鹿	現行方式	> 99 %	> 99 %	37.1 %	28.4 %
	修正方式	> 99 %	> 99 %	77.6 %	59.0 %
93101 御前崎	現行方式	> 99 %	> 99 %	38.8 %	26.1 %
	修正方式	> 99 %	> 99 %	89.0 %	63.6 %
940058 高山	現行方式	> 99 %	> 99 %	36.9 %	25.9 %
	修正方式	> 99 %	> 99 %	86.8 %	62.1 %
940083 高知	現行方式	> 99 %	> 99 %	39.1 %	15.8 %
	修正方式	> 99 %	> 99 %	81.6 %	34.9 %
950491 佐多	現行方式	> 99 %	> 99 %	38.3 %	19.9 %
	修正方式	> 99 %	> 99 %	68.7 %	33.9 %
92003 父島	現行方式	> 99 %	> 99 %	25.7 %	14.0 %
	修正方式	> 99 %	> 99 %	33.8 %	18.7 %

Conclusion

- MSAS補強情報の特性を調査：
 - 測位精度は十分に良好。
 - プロテクションレベルの大部分は電離層による成分であることを確認した。
- 電離層遅延補正の修正方式：
 - プロテクションレベルを抑制できる電離層遅延補正方式を検討した。
 - プロトタイプSBASに実装したうえで検討・評価した結果、磁気嵐の際のプロテクションレベルを1/3程度に抑制し、2倍程度のアベイラビリティが得られる見通しを得た。
- 今後の課題：
 - 改良方式について、さらに多くの磁気嵐について検証する。
 - さらに有効な方式の検討。