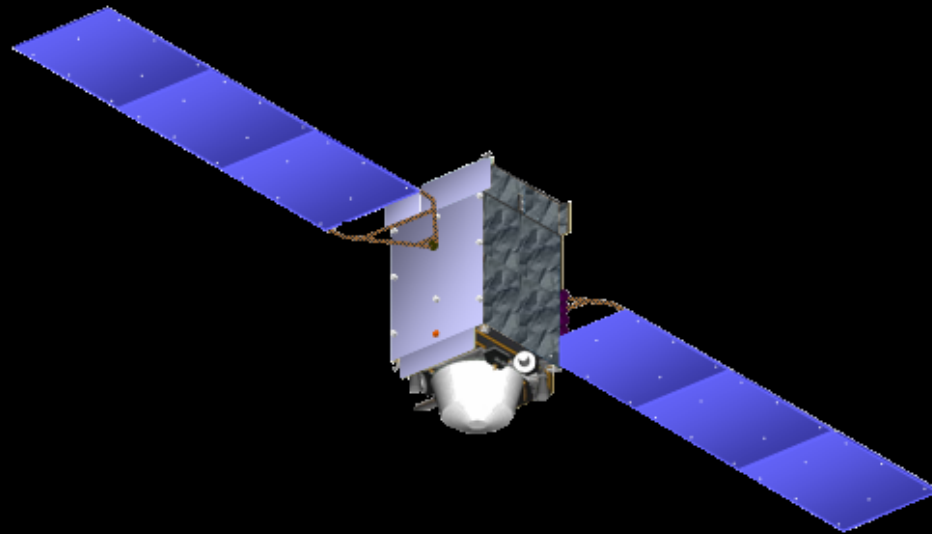


# 19. 準天頂衛星L1-SAIF実験局の性能確認

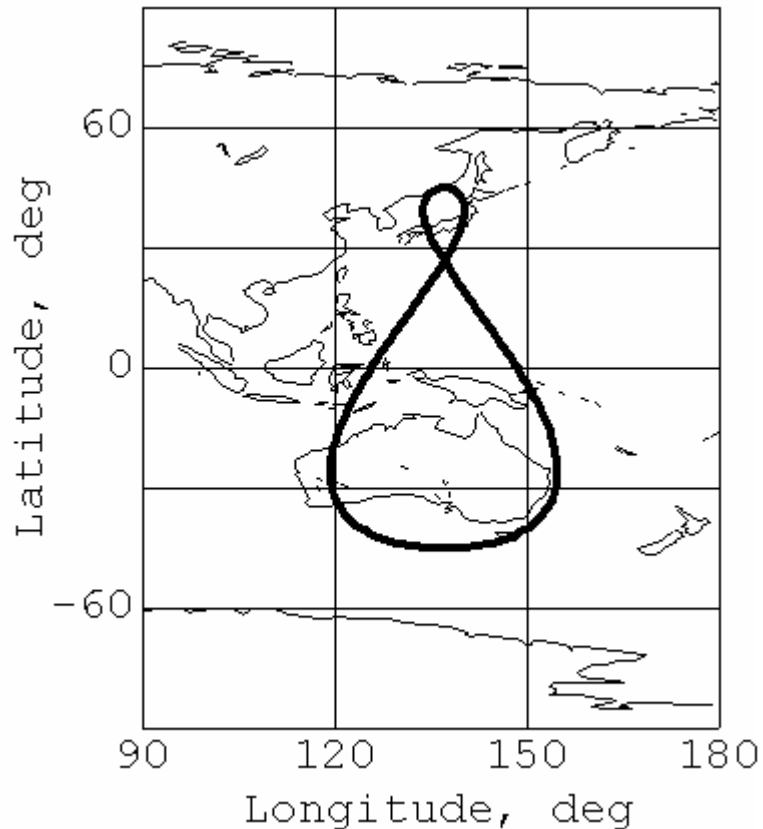


坂井 丈泰・福島 荘之介・伊藤 憲  
通信・航法・監視領域  
(高精度測位補正技術開発PT)

# Introduction

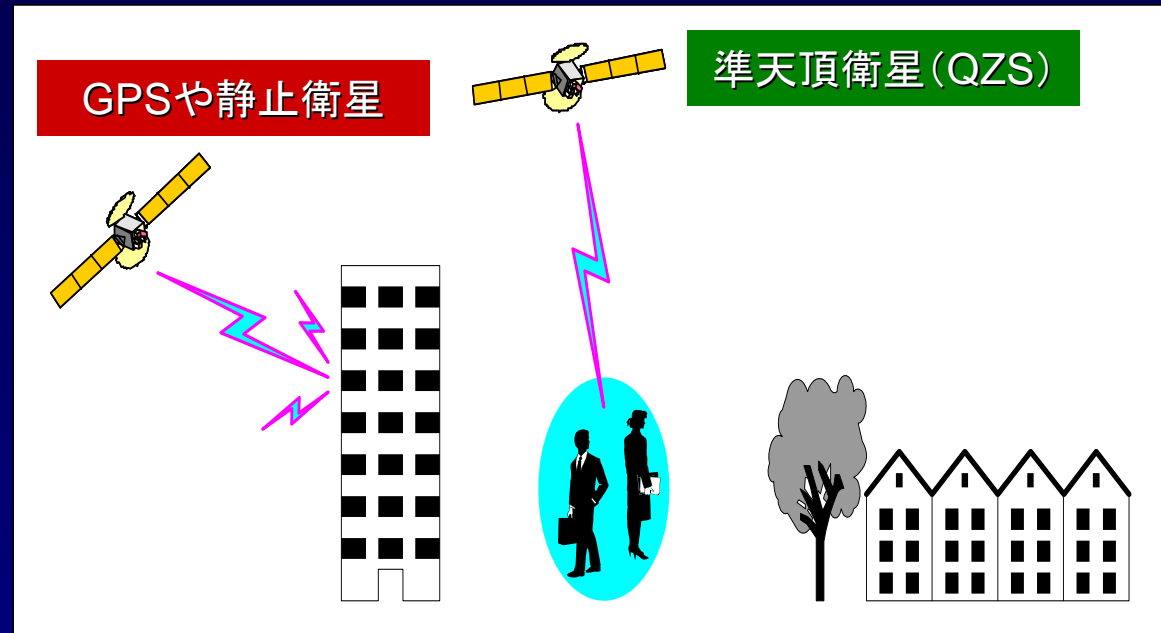
- 準天頂衛星システム (QZSS) :
  - 補完信号 (GPS L1C/L2C/L5 とほぼ互換) に加え、補強信号 (L1-SAIF、LEX) を放送。
  - L1-SAIF (Submeter-class Augmentation with Integrity Function) 信号を GPS/SBAS L1 周波数で放送。LEX 信号は Galileo E6 と同じ周波数。
  - L1-SAIF 補強信号: 広域ディファレンシャル補正情報、インテグリティ情報、測距機能を提供。
- 電子航法研究所は L1-SAIF 実験局の開発を担当:
  - L1-SAIF 信号の設計: SBAS 信号と同一の RF 信号特性。
  - SBAS 信号の上位互換となるようメッセージを設計。
- L1-SAIF メッセージ生成装置 (L1SMG) :
  - L1-SAIF 実験局 (L1SMS) のサブシステム。
  - 補強メッセージをリアルタイムに生成し、JAXA 地上局に送信する。

# 準天頂衛星のメリット



東経135度を中心に配置

離心率0.1 軌道傾斜角45度

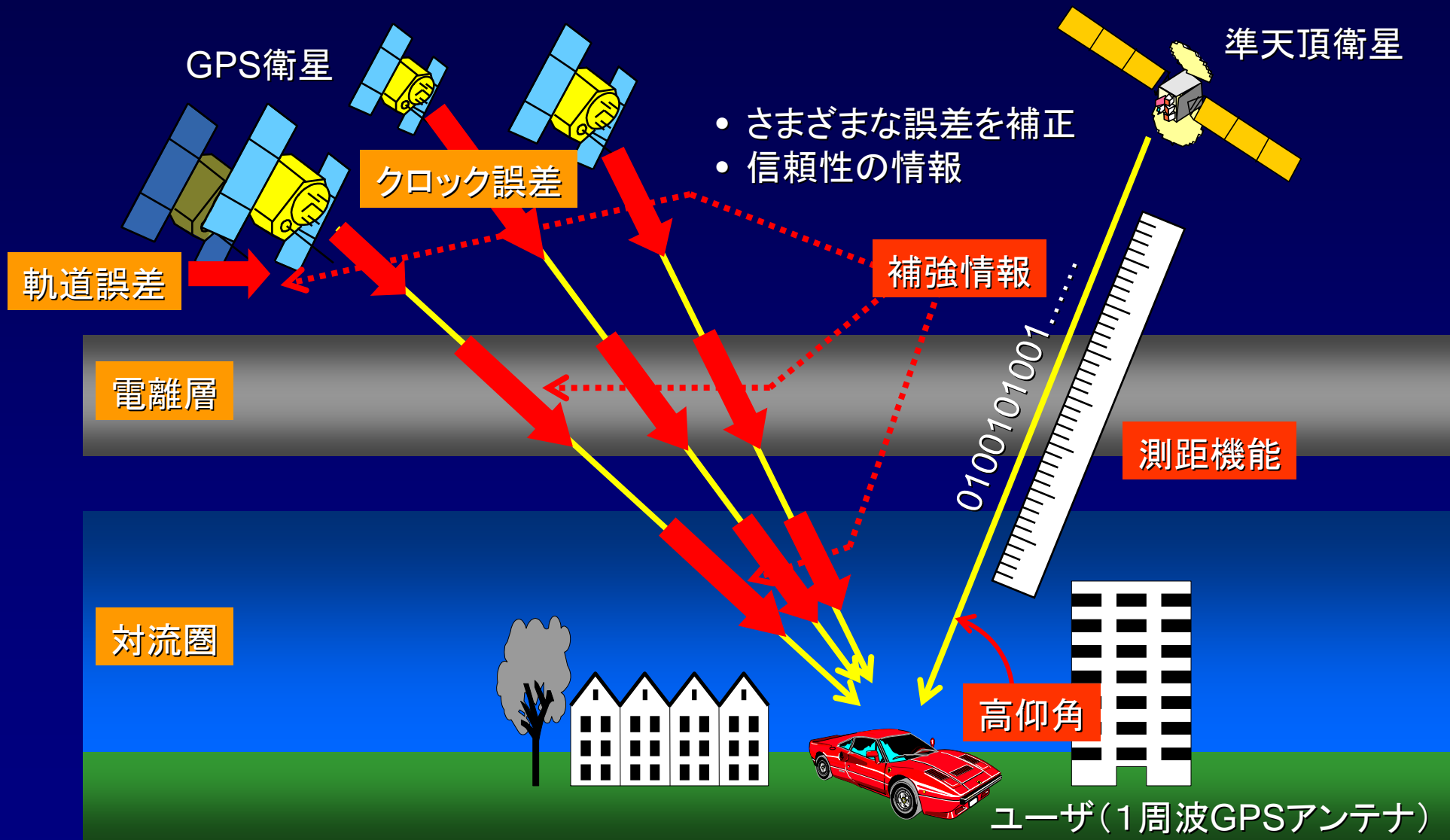


- 高仰角からサービスを提供可能。
- 山間部や都市部における測位・放送ミッションに有利。

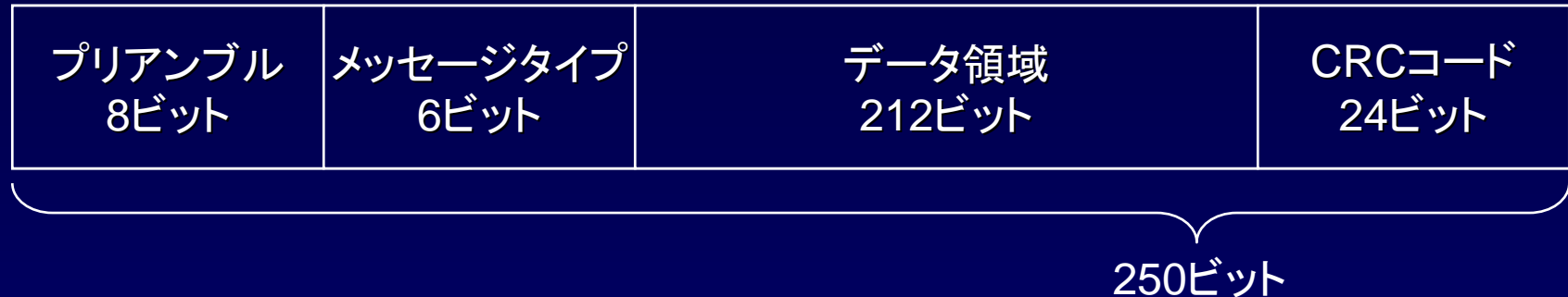
# サブメータ級補強信号(L1-SAIF)

- GPS L1周波数で放送する補強信号：
  - GPSと同一のアンテナ・フロントエンドで受信可能。
  - L1-SAIF信号 (Submeter-class Augmentation with Integrity Function)。
  - 「補完」ではなく「補強」：衛星が増えるだけではなく、補強情報も放送。
- 我が国全域を対象としたディファレンシャル補正情報：
  - 広域ディファレンシャルGPS (WADGPS)。
  - ベクトル補正方式：衛星軌道、クロック、電離層遅延をそれぞれ別々に補正。
  - 補強対象：GPS、準天頂衛星、(ガリレオ)。目標精度=1m。
  - すでに実用化されているSBASをベースとして開発：受信機側ソフトウェアの負担を抑える。
- インテグリティ情報あり：
  - 信頼性の高い位置情報を提供：移動体用途における安全確保。

# サブメータ級補強の仕組み



# SBAS互換メッセージ



メッセージ タイプ	内 容	更新間隔 (秒)
0	テストモード(使用不可)	6
1	PRNマスク情報	120
2~5	高速補正(FC+UDRE)	60
6	インテグリティ情報(UDRE)	6
7	高速補正の劣化係数	120
9	GEO航法メッセージ	120
10	劣化係数	120
12	SBAS時刻情報	300

メッセージ タイプ	内 容	更新間隔 (秒)
17	GEOアルマナック	300
18	IGPマスク情報	300
24	高速補正・長期補正	6
25	長期補正	120
26	電離層遅延補正(+GIVE)	300
27	SBASサービスメッセージ	300
28	クロック・軌道情報共分散	120
63	NULLメッセージ	—

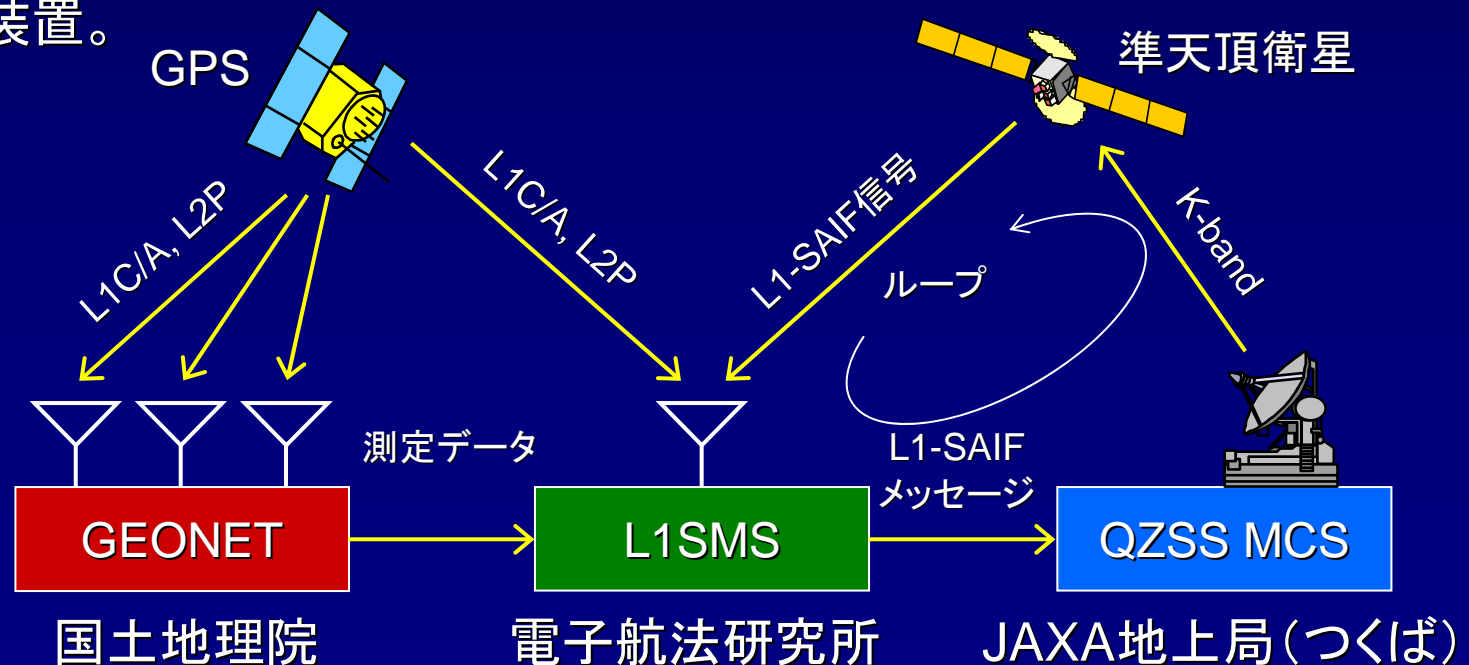
# L1-SAIF拡張メッセージ(案)

メッセージ タイプ	メッセージ内容	検討状況
52	電離層伝搬遅延補正(グリッド情報)	(検討中)
53	電離層伝搬遅延補正情報(遅延量)	
54	対流圏伝搬遅延補正情報(グリッド情報)	TGPにおける垂直遅延量を放送
55	対流圏伝搬遅延補正情報(遅延量)	
56	信号間バイアス補正情報(ISC)	L1C/L2C/L5/L1Pの遅れを放送
57	軌道情報に使用	(検討中)
58	QZSエフェメリス	直交座標表現を採用
59	QZSアルマナック	(検討中)
60	広域情報	(検討中)
61	(空き)	

※メッセージタイプ番号・メッセージ内容は変更する可能性あり

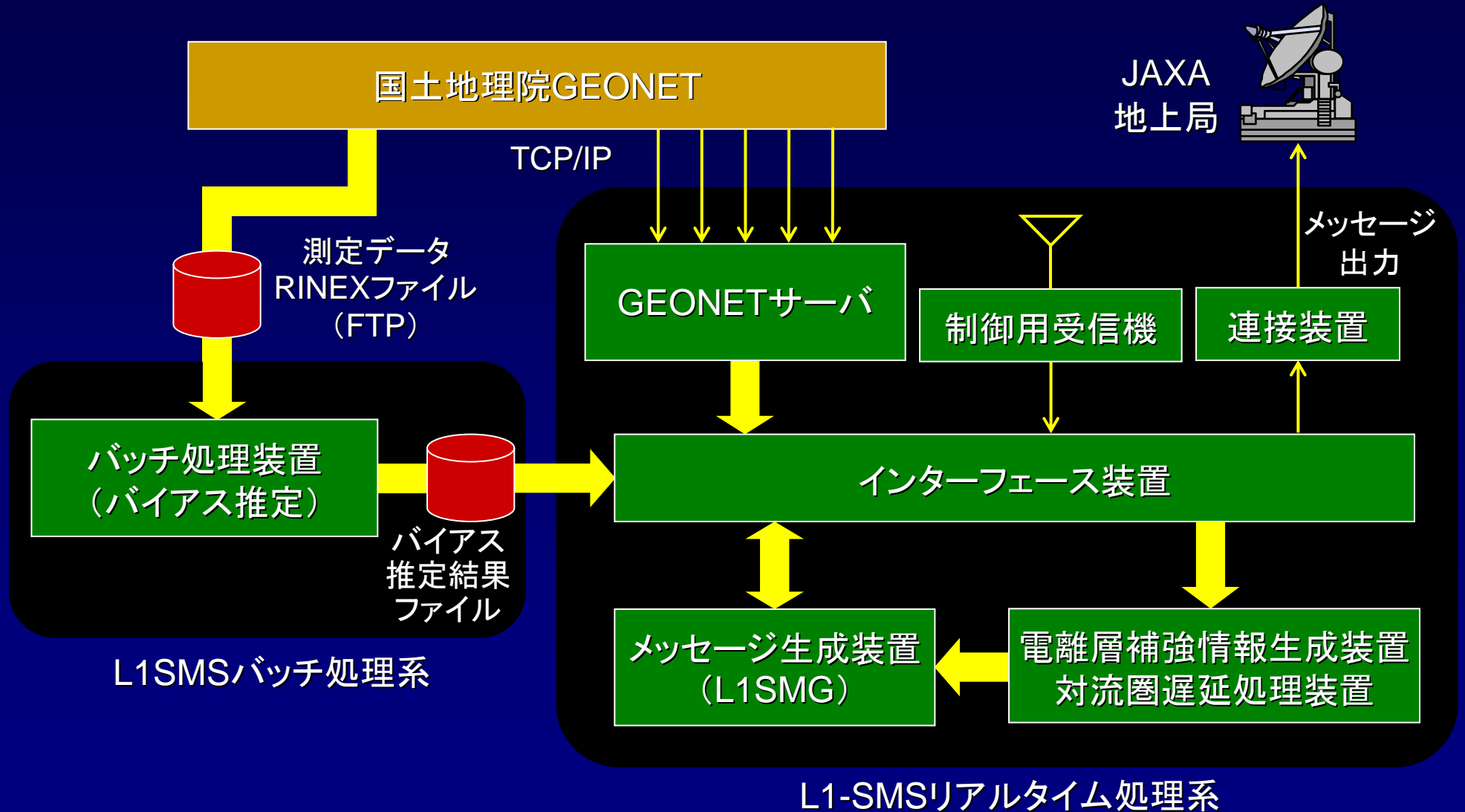
# L1-SAIF実験局(L1SMS)

- L1-SAIF実験局(L1SMS:L1-SAIF Master Station):
  - L1-SAIF補強メッセージをリアルタイムに生成し、JAXA(宇宙航空研究開発機構)筑波宇宙センター内のQZSS地上局に送信する。
  - 電子航法研究所構内(東京都調布市)に設置。
  - サブシステム: GEONETサーバ、制御用GPS受信機、インターフェース装置、メッセージ生成装置、電離層補強情報生成装置、対流圏遅延処理装置、バッチ処理装置、接続装置。





# L1-SAIF実験局の構成



# L1-SAIF実験局:サブシステム(1)

- GEONETサーバ:
  - 国土地理院GEONETより、二周波測定データを受信。
  - 出力レート:1 Hz、受信機固有フォーマットのバイナリデータ、伝送遅延は2秒以下。
  - 日本全国の1000局の電子基準点を5台の装置で処理。
- 制御用GPS受信機:
  - L1SMS内に設置、インターフェース装置にイーサネットLANで接続。
  - 目的1:インテグリティ機能の一つとして、衛星クロックの故障を早期に検出するために設置。
  - 目的2:航法メッセージを収集する(GEONETからは届かないため)。
  - 目的3:メッセージ生成装置(L1SMG)に現在時刻を提供する(L1SMG計算機の内蔵クロックを使用すると連続運転時に狂うため)。
  - NovAtel OEM-3 MiLLennium-STD受信機を使用。

# L1-SAIF実験局: サブシステム (2)

- **インターフェース装置:**
  - GPS測定データやL1SMGの生成メッセージを中継する装置。
  - GEONETサーバや制御用GPS受信機に多数の計算機がそれぞれ別個に接続するのを避け、インターフェースを一ヶ所にまとめる。
  - 集配データの性質によりネットワークを分割する。
- **メッセージ生成装置(L1SMG):**
  - L1-SAIF補強メッセージを生成し、インターフェース装置に送信する。
  - モニタ局(GMS)構成は可変: 起動時に設定ファイルを読み込んで対応。
  - モニタ局受信機は、NovAtel、Trimble、JAVADの各メーカーに対応。RINEXファイルも入力できる。
  - 電離層補強方式: 標準的なプレーナフィットアルゴリズム(MSAS/WAASで使用されているもの)を実装。
  - 対流圏補正: SBAS用の標準モデルを実装。

# L1-SAIF実験局: サブシステム (3)

- 電離層補強情報生成装置(ICP):
  - 多数のモニタ局(IMS)を使用して、電離層補正情報およびインテグリティ情報を生成する:200局まで動作確認済み。
  - メッセージ生成装置からのコマンドを受信して処理を行い、応答を返す。
  - メッセージ生成装置はプレーナフィットアルゴリズム(モニタ局数は10局程度まで)を内蔵:ICPからの応答がない場合に対応。
- 対流圏遅延処理装置(TCP):
  - GEONET電子基準点の測定データから、対流圏遅延量を算出する。
  - 準リアルタイム処理:遅れは5分程度。
  - 補強メッセージでは、TGP(tropospheric grid point)格子点における垂直遅延量として放送する。
  - TCPからの出力がない場合、対流圏遅延補正メッセージは放送しない(標準モデルを使用する)。

# L1-SAIF実験局: サブシステム (4)

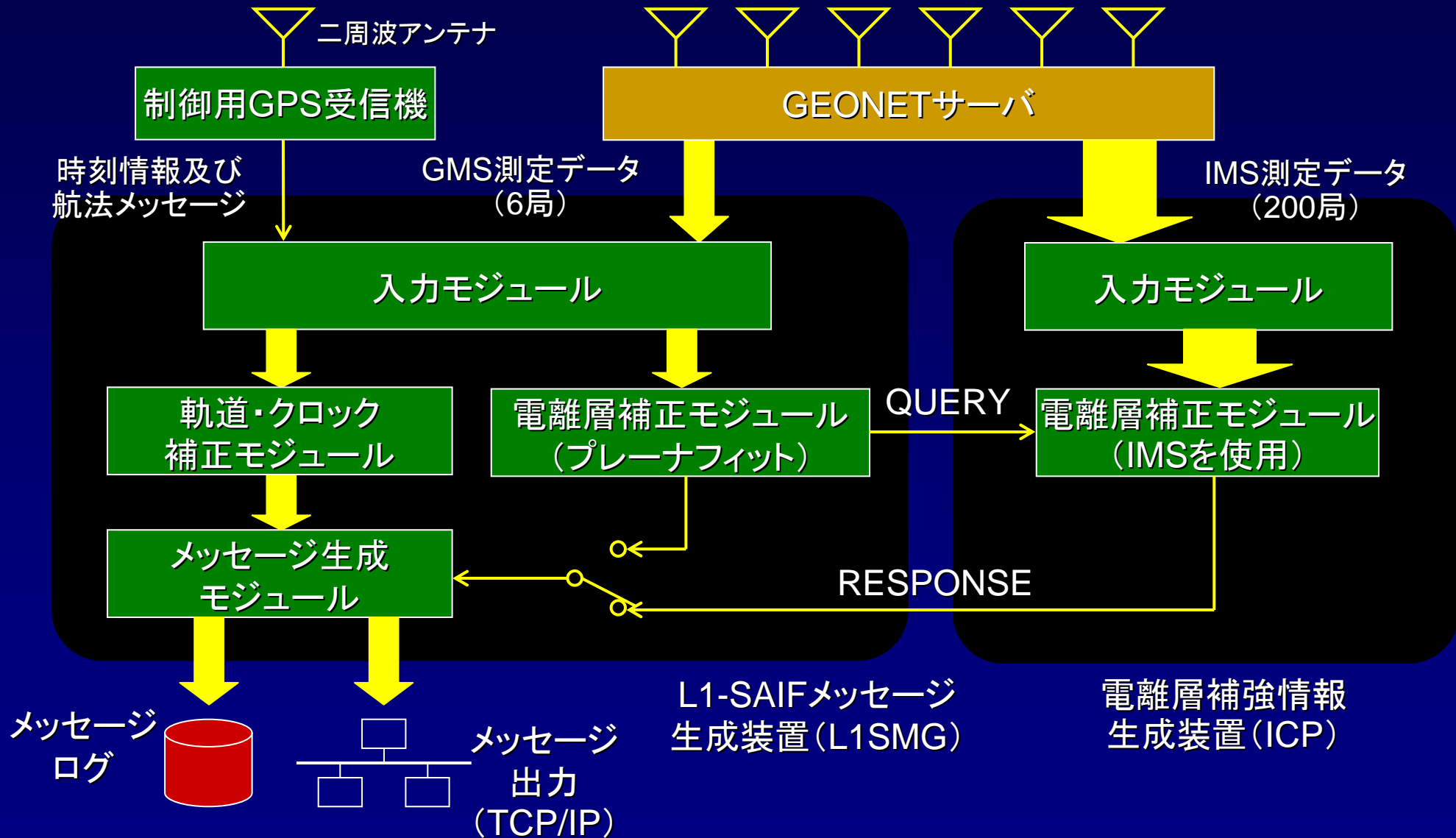
- バッチ処理装置:

- 衛星および受信機のハードウェアに起因する周波数間バイアス (IFB: interfrequency bias) を推定する。
- 毎日1回実行: 2日分の測定データを使用して電離層モデルを作成し、推定処理を実行する。
- リアルタイム処理に比べ、正確かつ安定した推定値を提供。

- 接続装置:

- メッセージ生成装置が出力した補強メッセージを、JAXA地上局に送信するための装置。
- ISDN回線経由でメッセージを送信、エコーバックを受信。
- JAXAモニタ局 (海外に10局程度を設置) のデータを収集。
- 電子航法研究所 - JAXA間のインターフェース仕様を策定。ISDNと光回線の2系統を予定。

# メッセージ生成装置の構成



# ICPへのコマンドとその応答

## QUERYコマンド

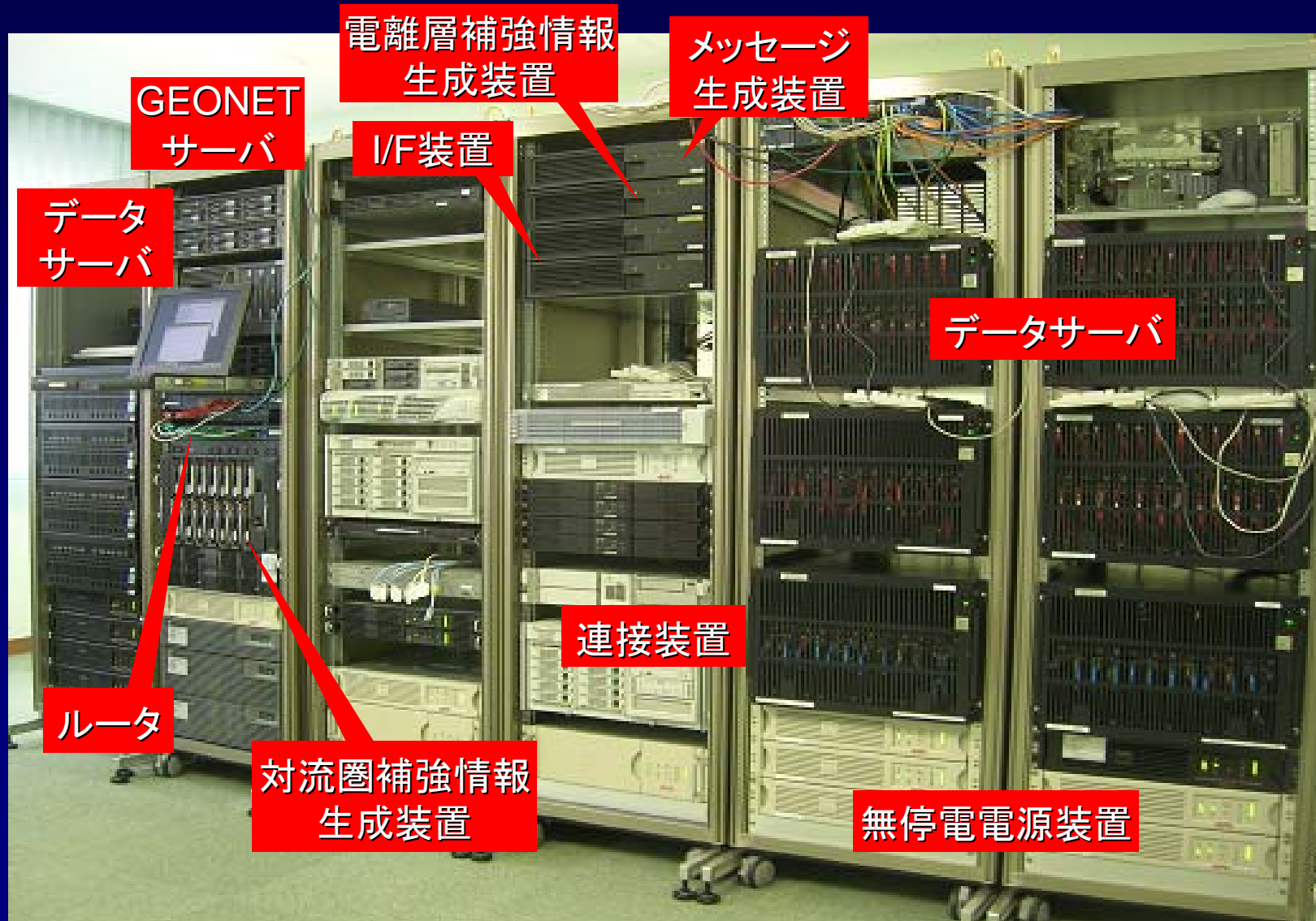
項目	バイト数	単位	
コマンド発行時刻	8	(double)	
IGP数	2	—	
IGP 1	緯度	2	0.1 deg
	経度	2	0.1 deg
:			
IGP n	緯度	2	0.1 deg
	経度	2	0.1 deg

## RESPONSEメッセージ

項目	バイト数	単位	
応答時刻	8	(double)	
IGP数	2	—	
IGP 1	垂直遅延量	8	(double)
	GIVE	8	(double)
:			
IGP n	垂直遅延量	8	(double)
	GIVE	8	(double)

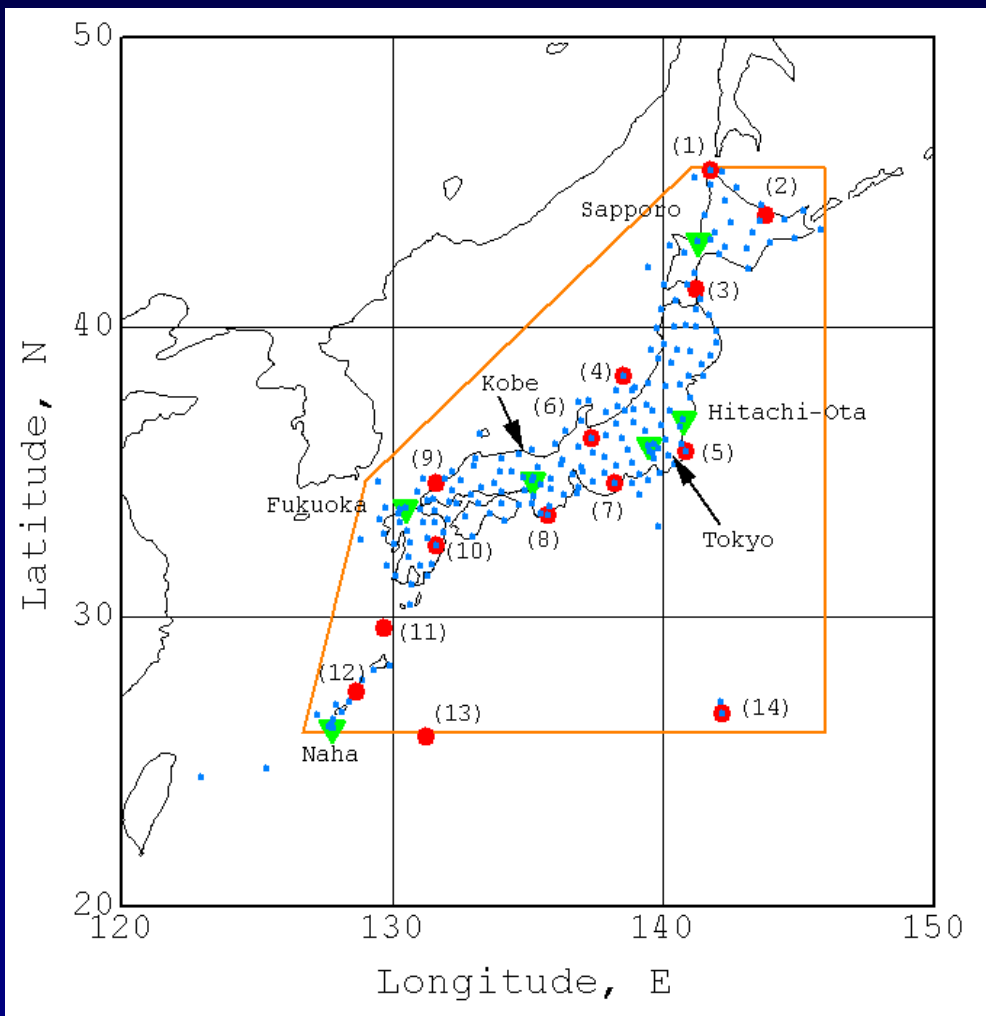
- それぞれのコマンド・応答メッセージは、ヘッダ及びCRCが付せられる。
- QUERYコマンドは、任意の個数のIGPの位置を指定する:ICPは、指定されたIGP位置における垂直遅延量を計算する。
- コマンド発行後150秒が経過しても応答が得られない場合、メッセージ生成装置はタイムアウトとして処理する(プレーナフィットを実行する)。

# L1-SAIF実験局





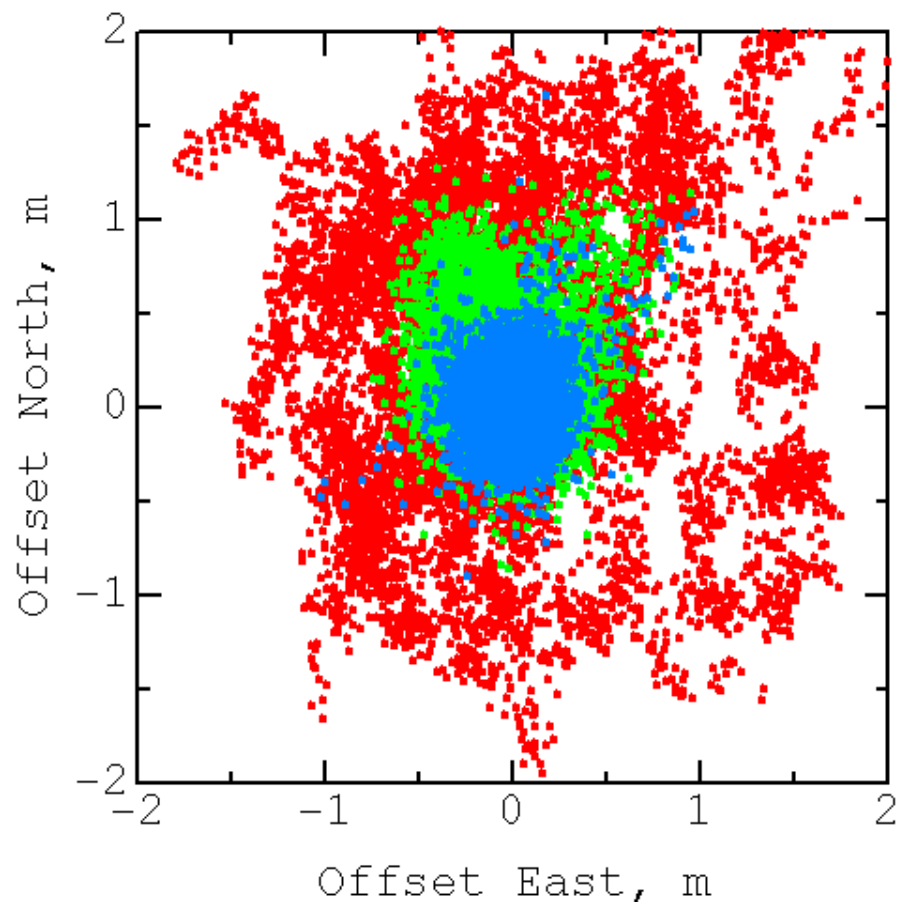
# リアルタイム動作試験



- ▼ GMS (計6局)  
軌道・クロック補正情報生成用モニタ局
- IMS (計200局)  
電離層補正情報生成用モニタ局
- ユーザ位置精度評価局 (14地点)
- L1-SAIF実験領域

- 電離層補正方式及びIMS数を変えて、動作試験を実施。
- ユーザ位置として14地点を評価対象として、測位精度を評価。ユーザ局番号は北から南の順で付けてある。
- モニタ局およびユーザ局のいずれも、GEONETの電子基準点を使用。

# ユーザ測位誤差の例



- 電子基準点93022(銚子)におけるユーザ測位誤差。
- L1-SAIFモニタ局:GMS=6局(MSAS相当)、IMS=200局。
- 実験期間:2009年1月16~21日(5日間)

システム		水平測位誤差	垂直測位誤差
L1-SAIF 補強	RMS	0.23 m	0.36 m
	Max	1.67 m	3.35 m
MSAS 補強	RMS	0.46 m	0.59 m
	Max	1.73 m	2.43 m
GPS 単独測位	RMS	1.25 m	2.99 m
	Max	4.30 m	8.11 m

L1-SAIF補強

MSAS補強

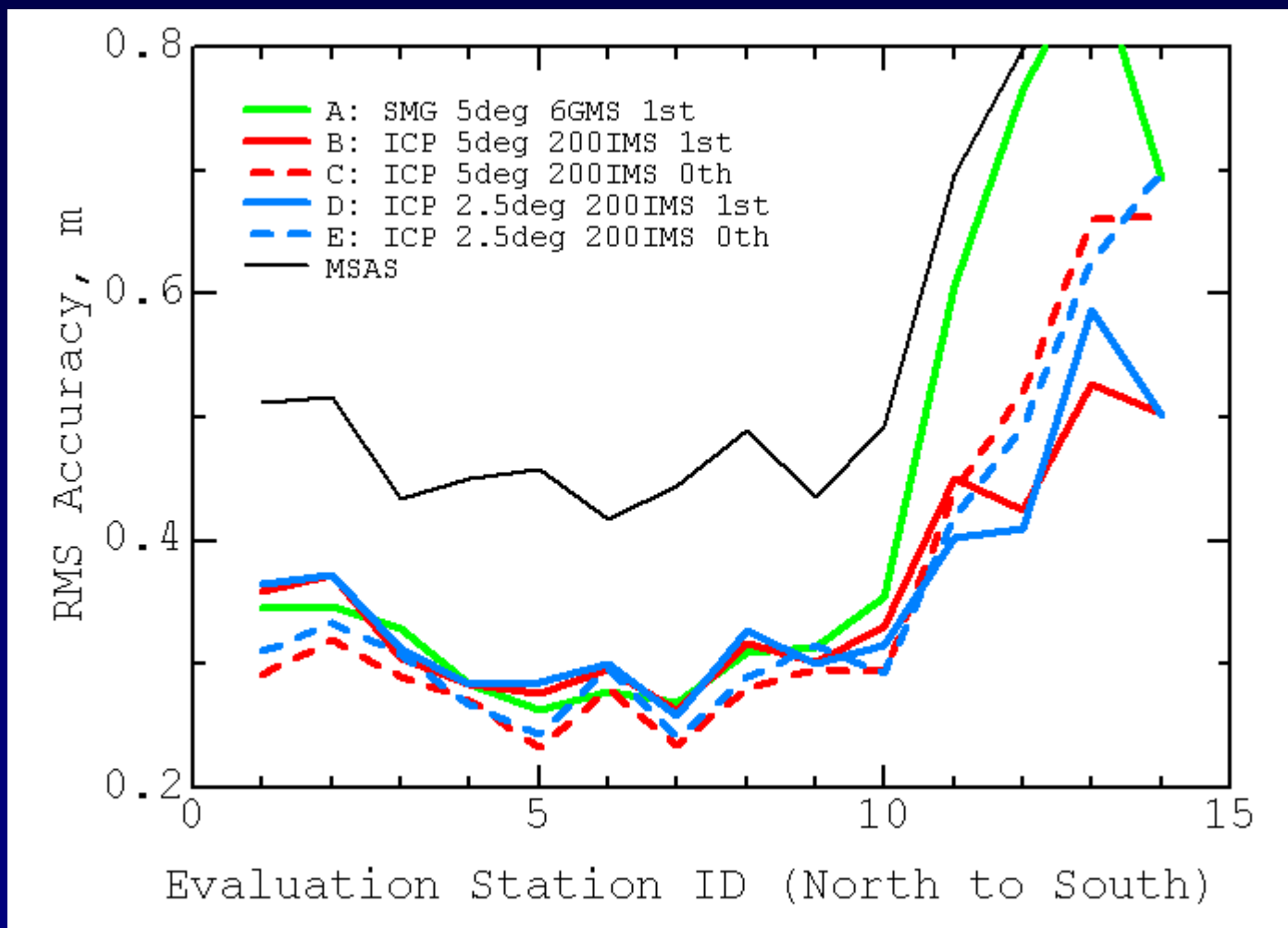
GPS単独測位

# 試験パラメータ

試験ケース	A	B	C	D	E	MSAS
電離層補強情報	L1SMG	ICP	ICP	ICP	ICP	MSAS
モニタ局数	6 GMS	200 IMS	200 IMS	200 IMS	200 IMS	6 GMS
IGP間隔	5 deg	5 deg	5 deg	2.5 deg	2.5 deg	5 deg
推定次数	1	1	0	1	0	1
最大半径Rmax (km)	2100	1000	1000	1000	1000	2100
最大IPP数 Nmax	30	30	30	30	30	30
最低IPP数 Nmin	10	10	10	10	10	10

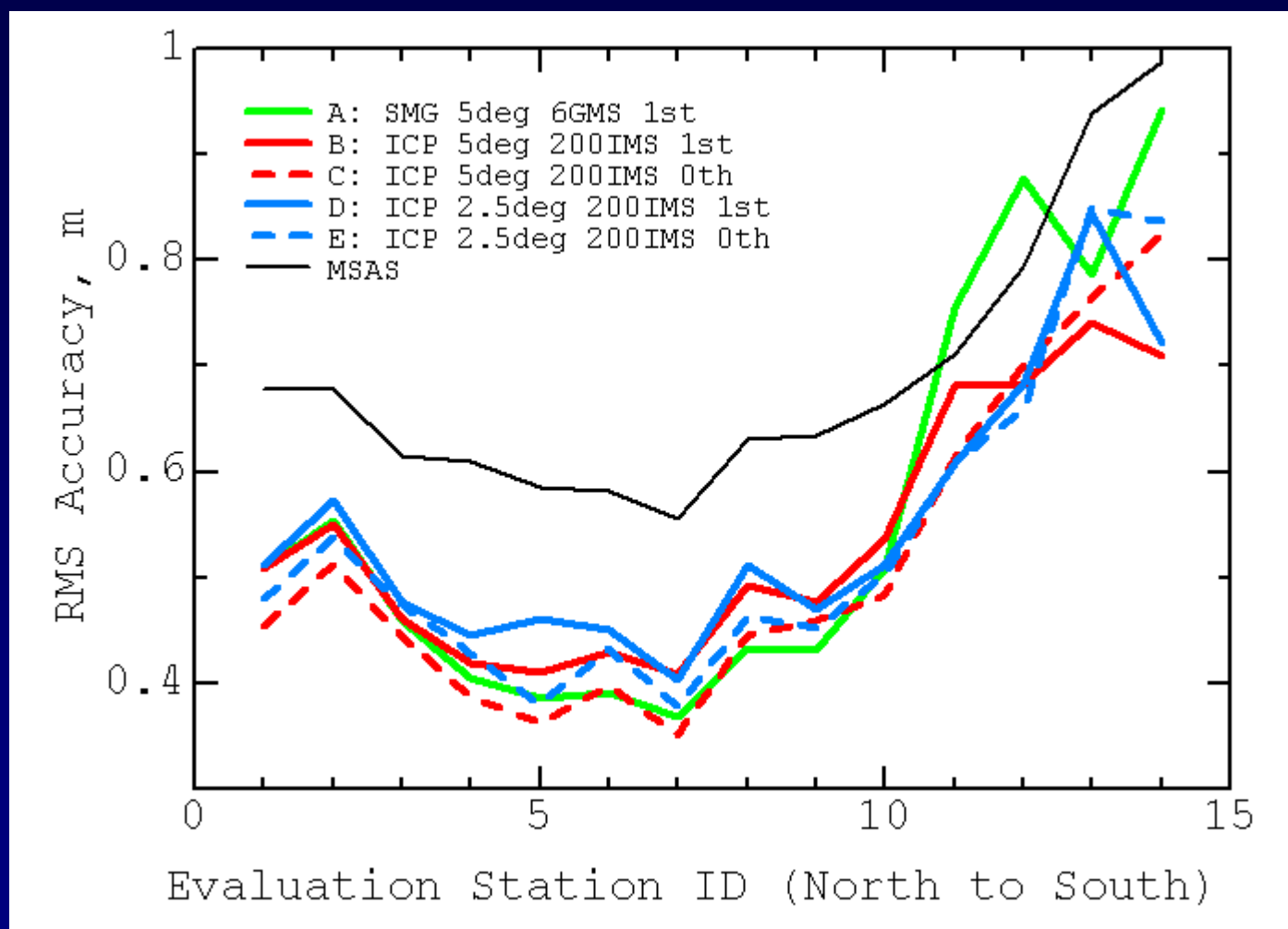
- 試験ケースA: ICPを使用しない場合。
- 試験ケースB~E: ICPを使用。
- 参考のため、MSASによる測位精度も比較した。

# ユーザ測位精度の比較(水平)



- ICPの使用により、南方での測位精度に改善がみられる。
- 測位精度の劣化を防ぐには、一次の推定(プレーナフィット)が有利。

# ユーザ測位精度の比較(垂直)



- 垂直方向についても、1mの測位精度を達成できる見込み。
- ただし、太陽活動の状況により測位精度が影響される可能性はある。

# Conclusion

- 準天頂衛星L1-SAIF信号の開発：
  - GPS/SBAS L1周波数による補強信号。
  - 信号形式はSBASと同一、補強メッセージは上位互換。
- L1-SAIF実験局の整備：
  - メッセージ生成装置を含め、主要な装置は開発済み。
  - リアルタイム動作試験：メッセージが正常に生成されることを確認、またモニタ局構成とユーザ測位精度の関係を調べた。
  - 電離層補強情報生成装置(ICP)を使用した場合の動作確認を行った。多数のIMSを用いて電離層補強情報を生成することにより、測位精度に改善がみられた。
- 今後の課題：
  - JAXA地上局(整備中)との接続稼動試験。