

準天頂衛星による測量向け補正技術の開発 及び マルチGNSS測量への取り組み



国土地理院 測地観測センター
矢来 博司

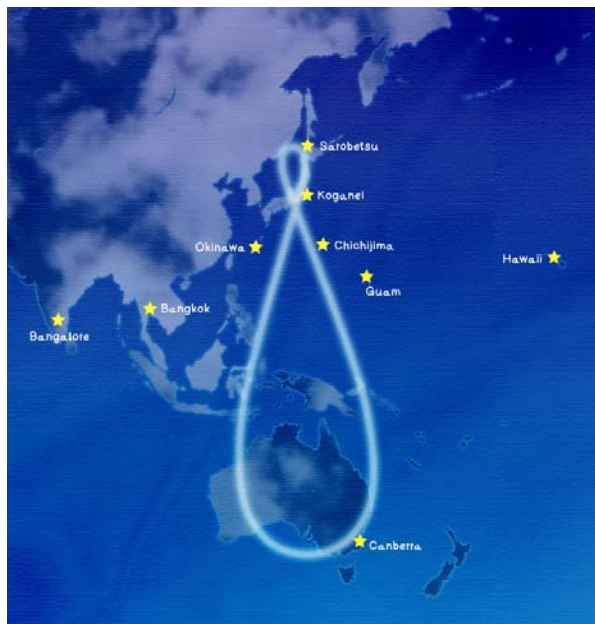
contents

- 準天頂衛星
 - GPS補完
 - GPS補強
- 開発した測量向け補正技術
 - 補正技術の概要
 - 試験観測結果
- マルチGNSS測量への取り組み
 - GEONETのGNSS対応
 - マルチGNSS統合解析技術の開発

準天頂衛星初号機「みちびき」

9/11	種子島SCより打上げ
9/27	準天頂軌道投入
10/26	全測位信号の送信開始
~11月末	各機関の初期機能確認試験
12月~	各機関の実証実験

※当初設計寿命10年から大幅に延長の見込み



準天頂衛星の概要

- 準天頂軌道
 - 静止軌道と同じ周期，軌道傾斜角 45°
- 日本付近で高仰角
 - 都市部，山間部で測位可能性向上
- GPS補完&GPS補強
 - GPS補完
 - GPS互換信号、衛星の幾何学配置の改善
 - GPS補強
 - 補正情報によるGPS測位精度向上

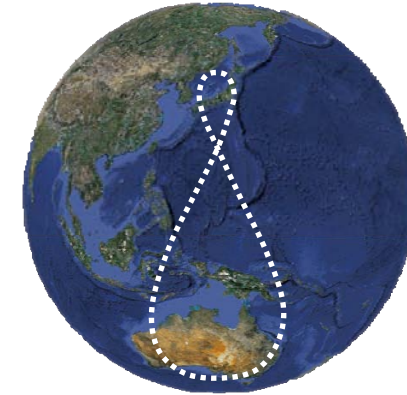


表. 準天頂衛星の送信信号

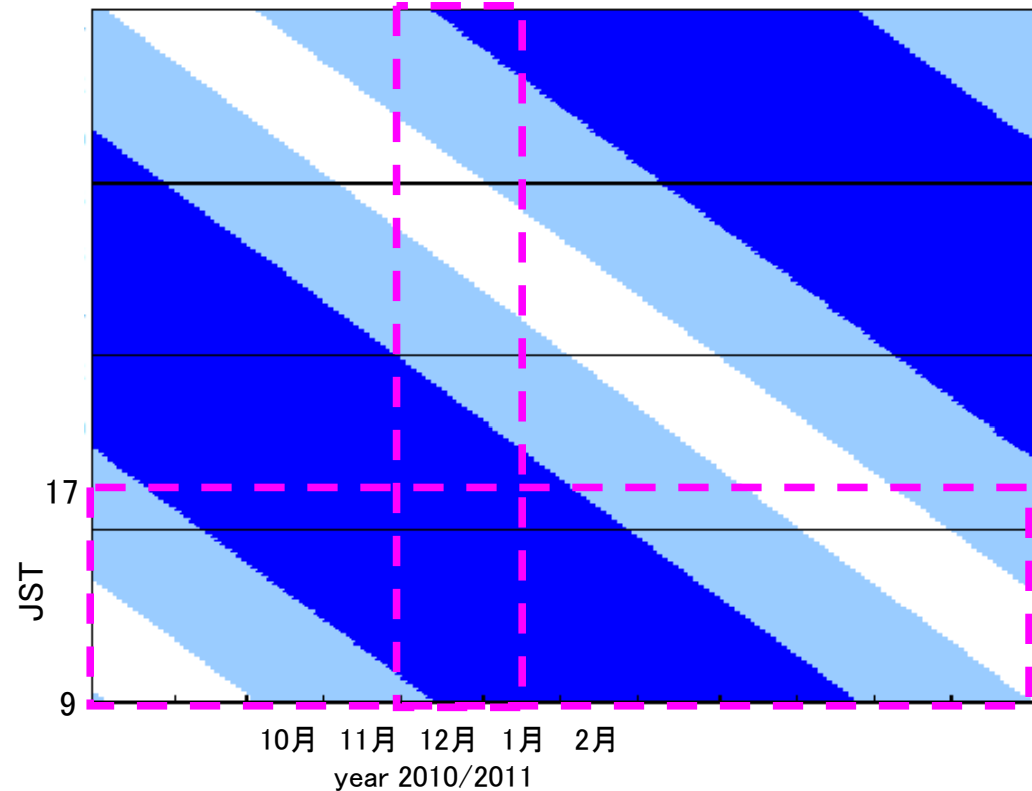
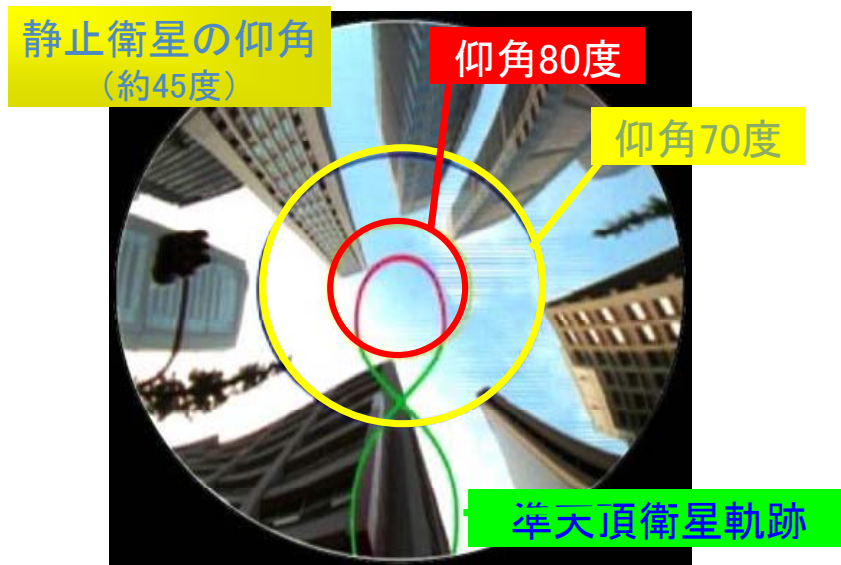
信号名称	中心周波数 (MHz)	概要
L1C/A	1575.42	GPS補完信号
L1C	1575.42	
L2C	1227.60	
L5	1176.45	
L1-SAIF	1575.42	高速移動体向け
LEX	1278.75	独自の実験用信号 2kbpsのデータレート 高精度補強実験

GPS補強機能用信号

測位補正情報を配信し、GPSによる測位精度を向上

準天頂衛星の可視状況

- ・東京における初号機の可視時間帯(UTC)
 (濃い部分:仰角60度以上、薄い部分:仰角10度以上)

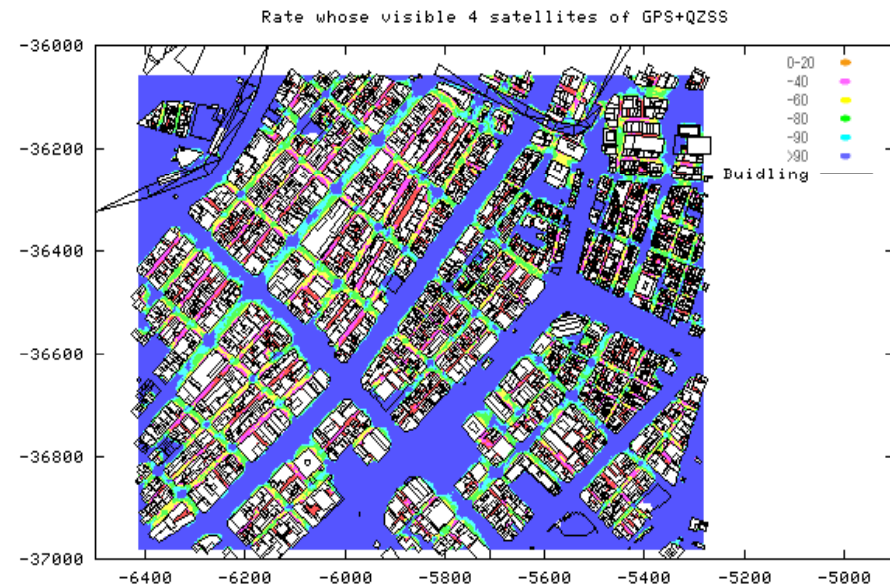
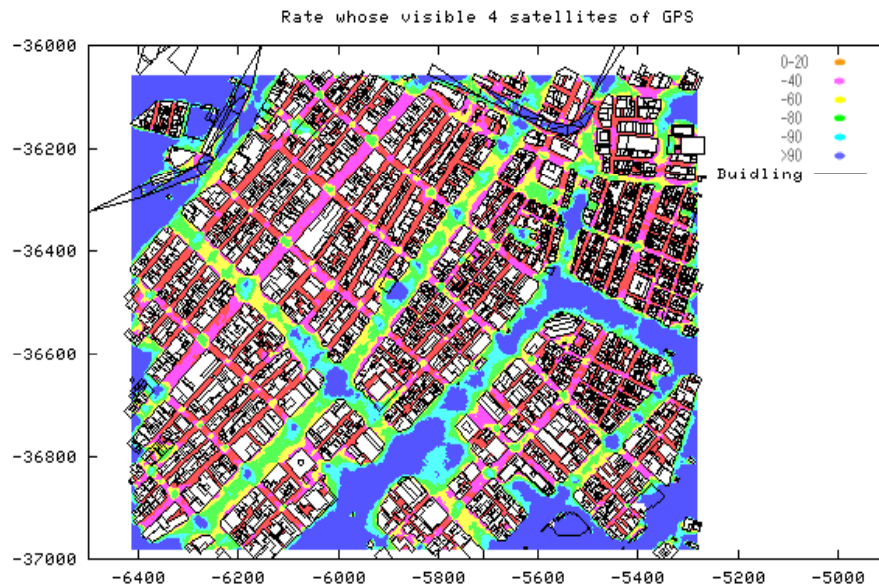


※準天頂衛星の軌道周期:23h56m
 → 1日に4分ずつ早くなる。

宇宙航空研究開発機構.2009ユーザインタフェース仕様書(IS-QZSS), 1.1版

準天頂衛星による衛星可視状況の改善

東京銀座地区3Dシミュレーション



4衛星以上観測可能な時間率

GPSのみ

GPS+QZSS

QZSS

- 凡例
- 0-20
 - 20-40
 - 40-60
 - 60-80
 - 80-90
 - 90-100 %

上空視界の限られた都市部や山間部での衛星の可視性が向上し、安定的に測量が行えると期待



準天頂衛星の概要

- 準天頂軌道
 - 静止軌道と同じ周期，軌道傾斜角 45°
- 日本付近で高仰角
 - 都市部，山間部で測位可能性向上
- GPS補完&GPS補強
 - GPS補完
 - GPS互換信号、衛星の幾何学配置の改善
 - GPS補強
 - 補正情報によるGPS測位精度向上

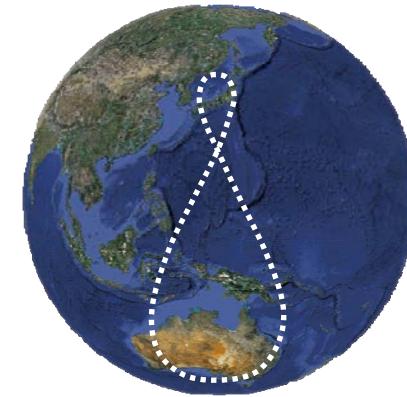


表. 準天頂衛星の送信信号

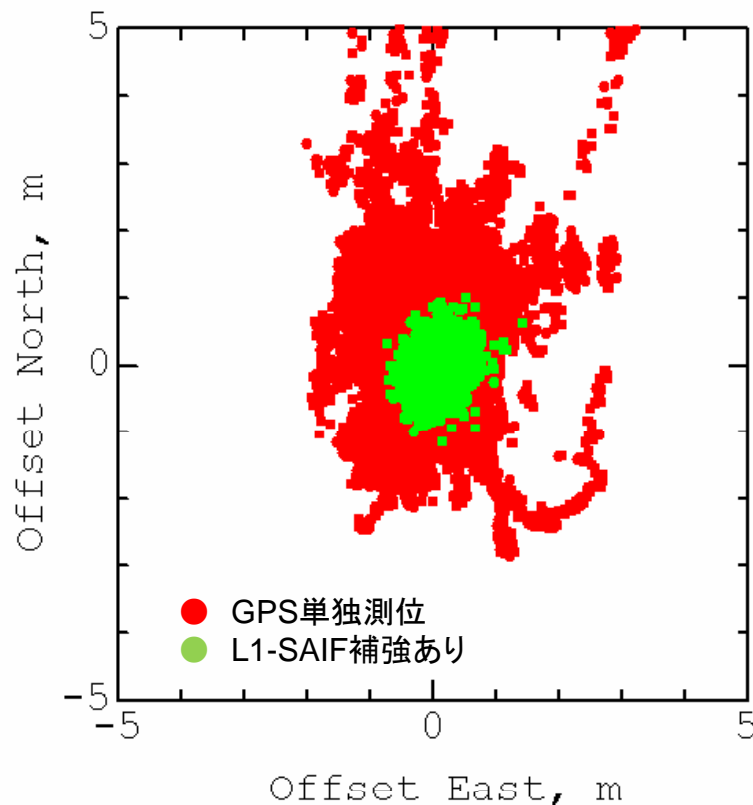
信号名称	中心周波数 (MHz)	概要
L1C/A	1575.42	GPS補完信号
L1C	1575.42	
L2C	1227.60	
L5	1176.45	
L1-SAIF	1575.42	高速移動体向け
LEX	1278.75	独自の実験用信号 2kbpsのデータレート 高精度補強実験

GPS補強機能用信号

測位補正情報を配信し、GPSによる測位精度を向上 (国土地理院はLEXを利用)

GPS補強

GPS信号の誤差情報やGPS信号の使用可否情報等を送信し、測位精度や信頼性の向上を図る



L1-SAIFによる精度改善の例

坂井ほか(2008)に加筆

- L1-SAIF
 - 広域D-GPS
 - インテグリティ情報も配信
 - 高速移動体向け
- LEX
 - 実験用信号
 - 2kbpsでのデータ送信が可能
 - 複数の機関が実証実験予定
 - 国土地理院(測量)
 - SPAC(低速移動体) など

contents

- 準天頂衛星
 - GPS補完
 - GPS補強
- 開発した測量向け補正技術
 - 補正技術の概要
 - 試験観測結果
- マルチGNSS測量への取り組み
 - 電子基準点のGNSS対応
 - マルチGNSS統合解析技術の開発

準天頂衛星を用いた測量向け測位補正技術の開発

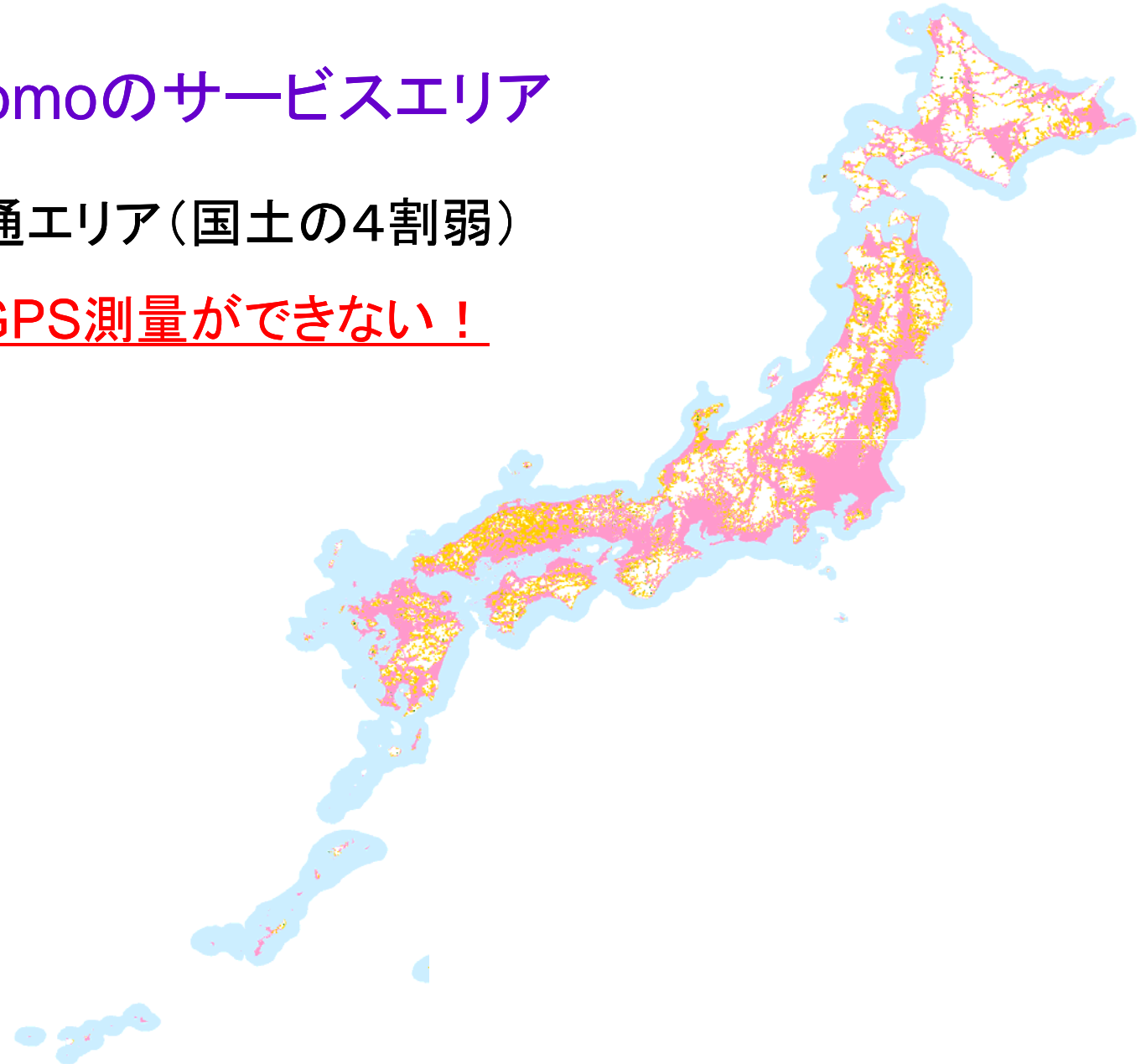
- 国交省・総合技術開発プロジェクトの一環（H15～H22）
（国としての技術実証）

現行測量方式	特 徴
2周波受信機での スタティック測量	<ul style="list-style-type: none">・観測時間<u>60分以上</u>、<u>後処理</u>で座標算出・受信機：2周波型・<u>3～4台利用</u>
1周波受信機での スタティック測量	<ul style="list-style-type: none">・観測時間<u>60分以上</u>、<u>後処理</u>で座標算出・<u>短距離基線</u>のみで高精度測位・受信機：1周波型（廉価）・<u>3～4台利用</u>
ネットワーク型 RTK-GPS測量	<ul style="list-style-type: none">・リアルタイムの補正情報を用いた測位。現地で座標算出・<u>携帯電話不通地域では利用不可</u>・受信機：2周波型・1～2台利用

(参考)NTTdocomoのサービスエリア

陸域の白地=不通エリア(国土の4割弱)

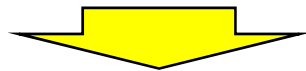
→ NW型RTK-GPS測量ができない!



準天頂衛星を用いた測量向け測位補正技術の開発

- 国交省・総合技術開発プロジェクトの一環（H15～H22）
（国としての技術実証）

現行測量方式	特 徴
2周波受信機でのスタティック測量	<ul style="list-style-type: none">観測時間<u>60分以上</u>、<u>後処理</u>で座標算出受信機：2周波型・<u>3～4台利用</u>
1周波受信機でのスタティック測量	<ul style="list-style-type: none">観測時間<u>60分以上</u>、<u>後処理</u>で座標算出<u>短距離基線</u>のみで高精度測位受信機：1周波型（廉価）・<u>3～4台利用</u>
ネットワーク型RTK-GPS測量	<ul style="list-style-type: none">リアルタイムの補正情報を用いた測位。現地で座標算出<u>携帯電話不通地域では利用不可</u>受信機：2周波型・1～2台利用

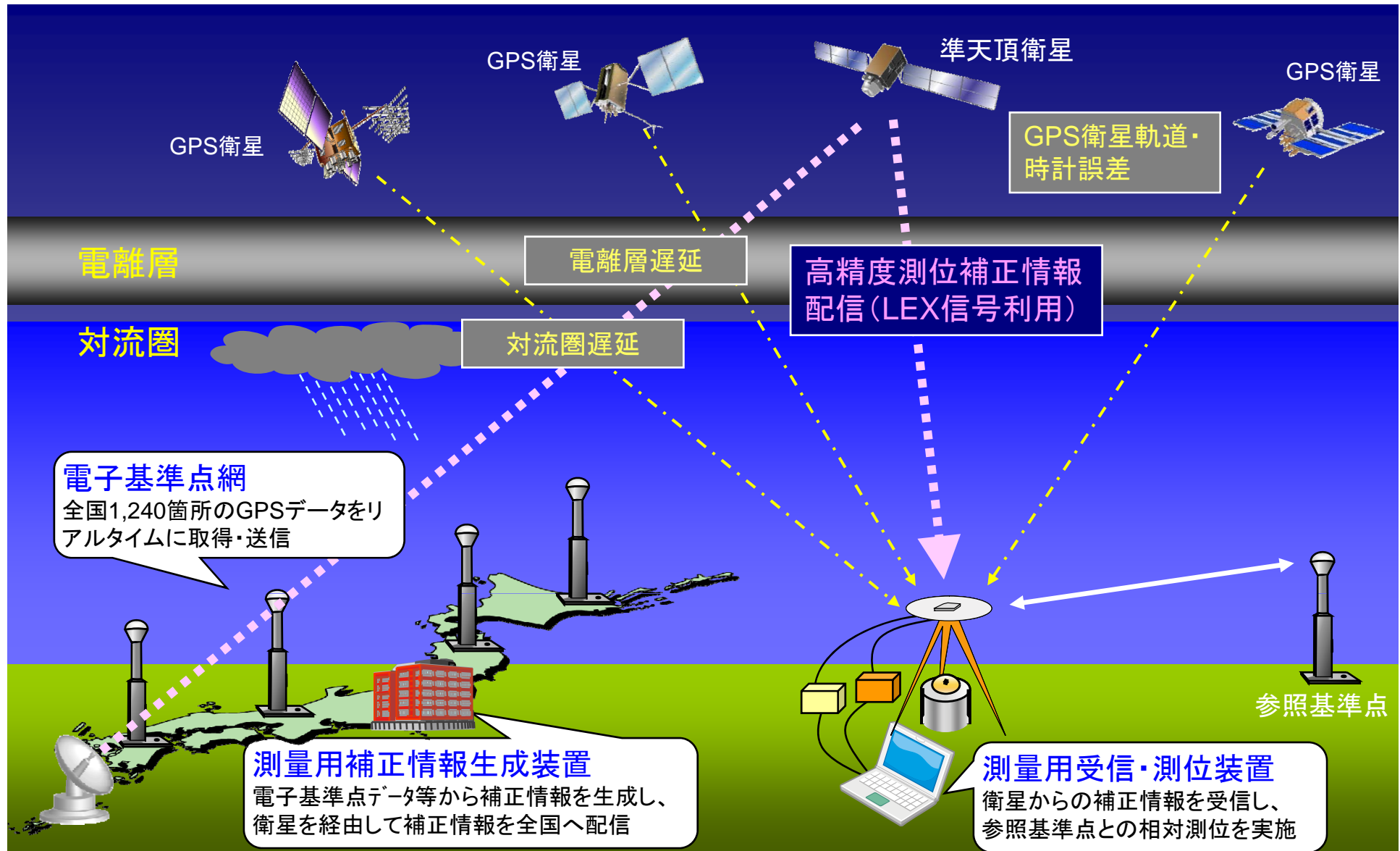


LEXを利用した測位補正技術の開発

- 廉価な1周波型GPS受信機で、短時間に、国土全域で、センチメートル級の測位を実現

開発した測位補正技術の概要

電子基準点データからGPS用補正情報を生成し、LEX信号で配信



配信する測量用補正情報

限られた容量に収まるよう情報を凝縮

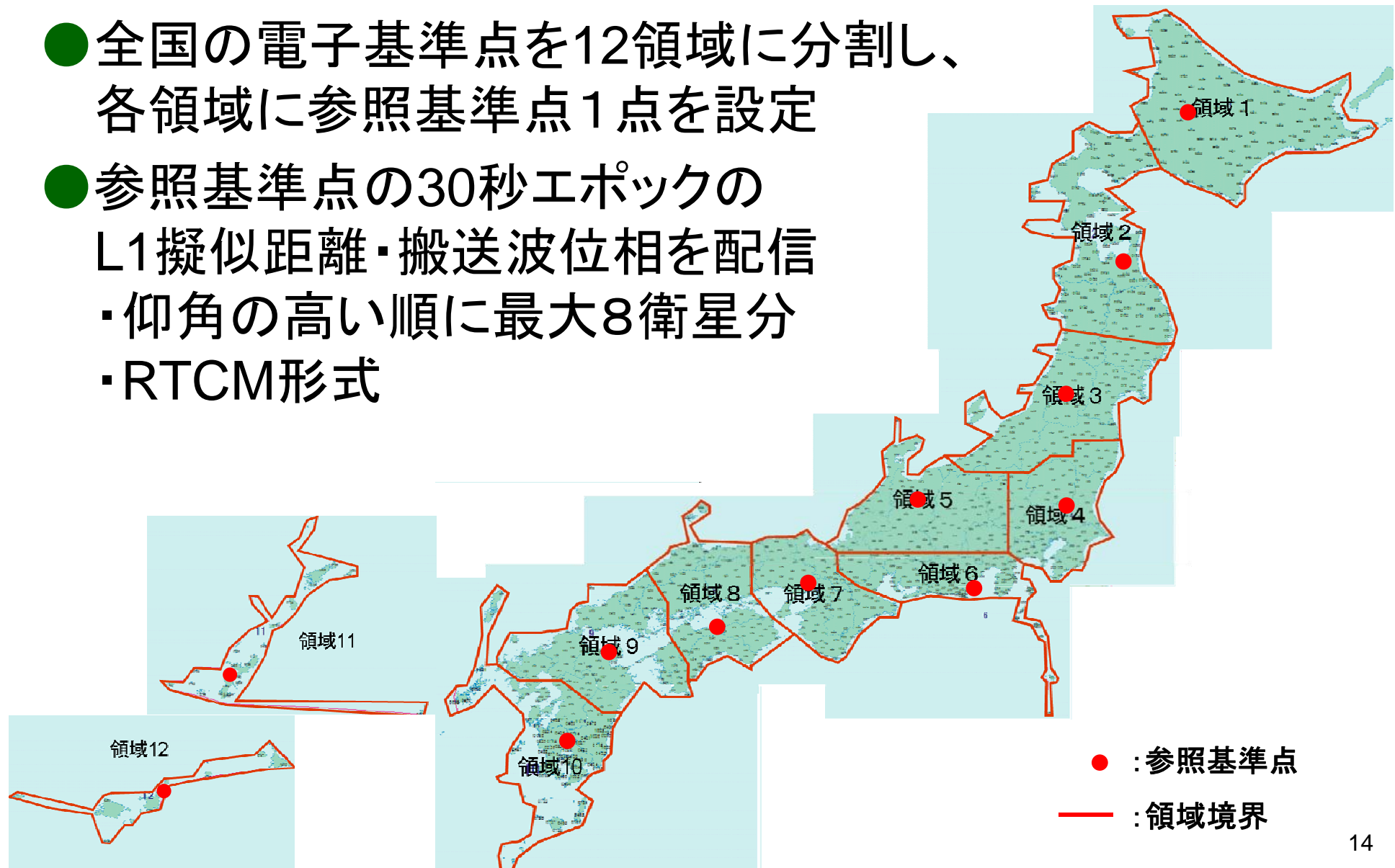
- 準天頂衛星からLEX信号に載せて配信(データ容量:1695 bit/s)

補正情報	配信	特徴と配信する情報
①参照基準点観測情報	30秒毎	<ul style="list-style-type: none"> 全国を12の領域に分割 各領域の中央に参照基準点を1つ配置 参照基準点のGPSデータ(L1周波数のみ)
②衛星軌道・時計情報 (+ 電離層グリッド間隔情報)	240秒毎	<ul style="list-style-type: none"> 衛星の軌道情報(IGS超速報暦を補間) 衛星の時計情報(全国20点の電子基準点データから推定)
③対流圏遅延補正情報	240秒毎	<ul style="list-style-type: none"> 全電子基準点で推定した湿潤大気遅延量(各電子基準点上空の水蒸気量に相当)
④電離層遅延補正情報	120秒毎	<ul style="list-style-type: none"> 全国12領域毎に推定 グリッドデータ(0.3×0.4°) 衛星毎に作成(最大8衛星分)

- 別途準備する固定情報(更新頻度の低い情報)
 - 電子基準点の座標値 等
 - あらかじめダウンロードしておく

① 参照基準点観測情報（配信：30秒毎）

- 全国の電子基準点を12領域に分割し、各領域に参照基準点1点を設定
- 参照基準点の30秒エポックのL1擬似距離・搬送波位相を配信
 - ・仰角の高い順に最大8衛星分
 - ・RTCM形式



② 衛星軌道・時計情報 (配信:240秒毎)

● 衛星軌道情報

- ・IGS超速報暦から観測時刻を中心に日本上空衛星の13エポック(前後3時間分)を抽出
- ・測位時には時間内挿して使用

● 衛星時計情報

- ・全国20点の電子基準点のリアルタイムデータから誤差推定
- ・解析ソフト:RTNet/CLK

※衛星時計誤差は、対流圏遅延補正情報生成のために使用し測位側の基線解析には使用しないが、他の測位方式やチェックのための利用可能性を考慮して配信



③ 対流圏遅延補正情報 (配信:240秒毎)

- 全電子基準点の天頂方向の湿潤遅延量をPPPにて推定、配信(解析ソフト:RTNet/TRP)
 - ・ 静水圧遅延はSaastamoinenモデルで除去

$$\delta T_d = 0.002277 \cdot (1 + 0.0026 \cos 2\phi + 0.00028h) \cdot P_{surf}$$

(ϕ : 緯度、 h : 高さ、 P_{surf} : 地表気圧[hPa])

- 測位時は、静水圧遅延量を上記モデルで推定し、湿潤遅延量を空間内挿して使用
 - ・ 空間内挿式

$$\delta T_{w,u} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\delta T_{w,i}}{Dist_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Dist_i}}$$

※測位点周囲75km内の電子基準点を対象とする

④ 電離層遅延補正情報（配信：120秒毎）

● 各衛星の電離層遅延量をグリッド化して表した補正量

- ・領域内の電子基準点を約15点のサブネットに分割
- ・各サブネットで電子基準点データ(二重位相差)を解析し、視線方向の遅延量推定(解析ソフト:RTNet/ION)
- ・衛星の天頂角より天頂方向の値に変換
- ・サブネット間のバイアスを調整しグリッド化(0.3×0.4°)

$$Z_{r,n}^s(x, y) = (1 - k_x - k_y + k_x \cdot k_y) \cdot z_{i,i} + (k_x - k_x \cdot k_y) \cdot z_{i+1,i} \\ + (k_y - k_x \cdot k_y) \cdot z_{i,i+1} + (k_x \cdot k_y) \cdot z_{i+1,i+1} + b_n^s$$

$$0 = \sum_{i=1}^{N_n} \frac{b_i^s}{N_n}$$

※他に隣接グリッド間の平均曲率が最適になるよう拘束する関係式を用いる

測量用補正情報のLEX信号への割付イメージ

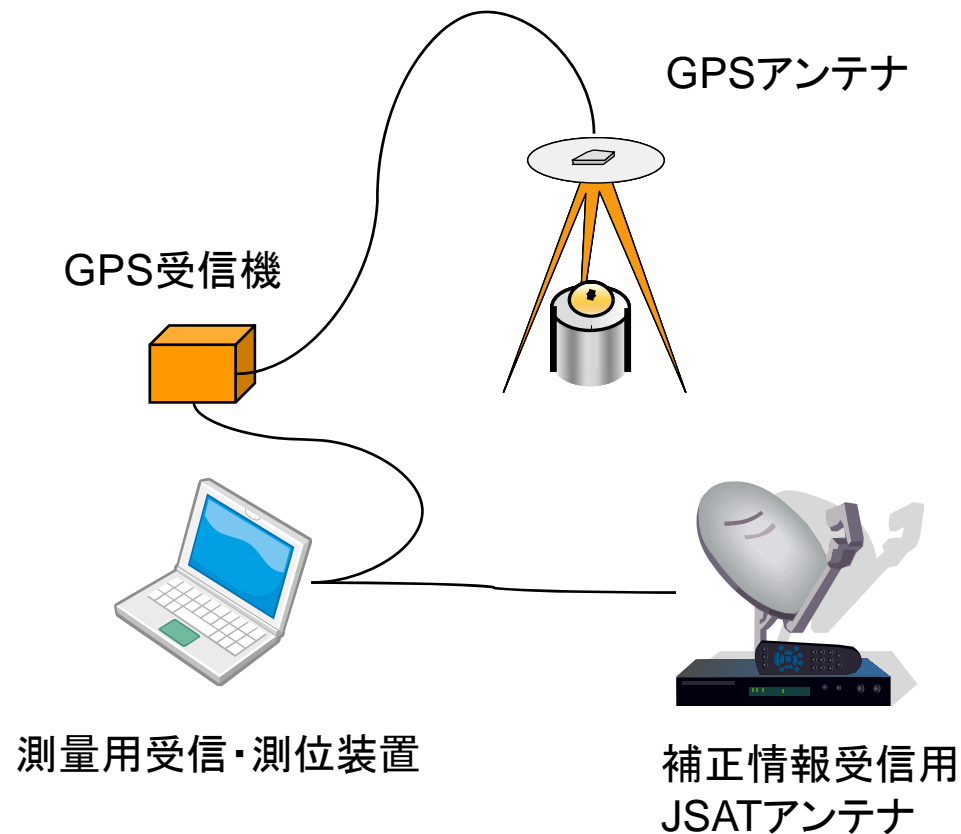
LEX信号による配信データ容量: 1695bps

○	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	参照基準点					衛星軌道、時計補正情報+電離層グリッド間隔情報																		電離層1							
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
				参照基準点					電離層2									電離層10						電離層3							
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
				参照基準点					電離層5									電離層8						電離層9							
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
	電離層11						参照基準点					電離層4						電離層6						電離層7						電離層12	
	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	
		参照基準点					対流圏遅延補正情報															電離層1									
	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	
		参照基準点					電離層2									電離層10						電離層3									
	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	
		参照基準点					電離層5									電離層8						電離層9									
	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	
	電離層11					参照基準点					電離層4						電離層6						電離層7						電離層12		

※240秒で1サイクル、約3サイクル分のデータを用いて測位計算(計約15分)

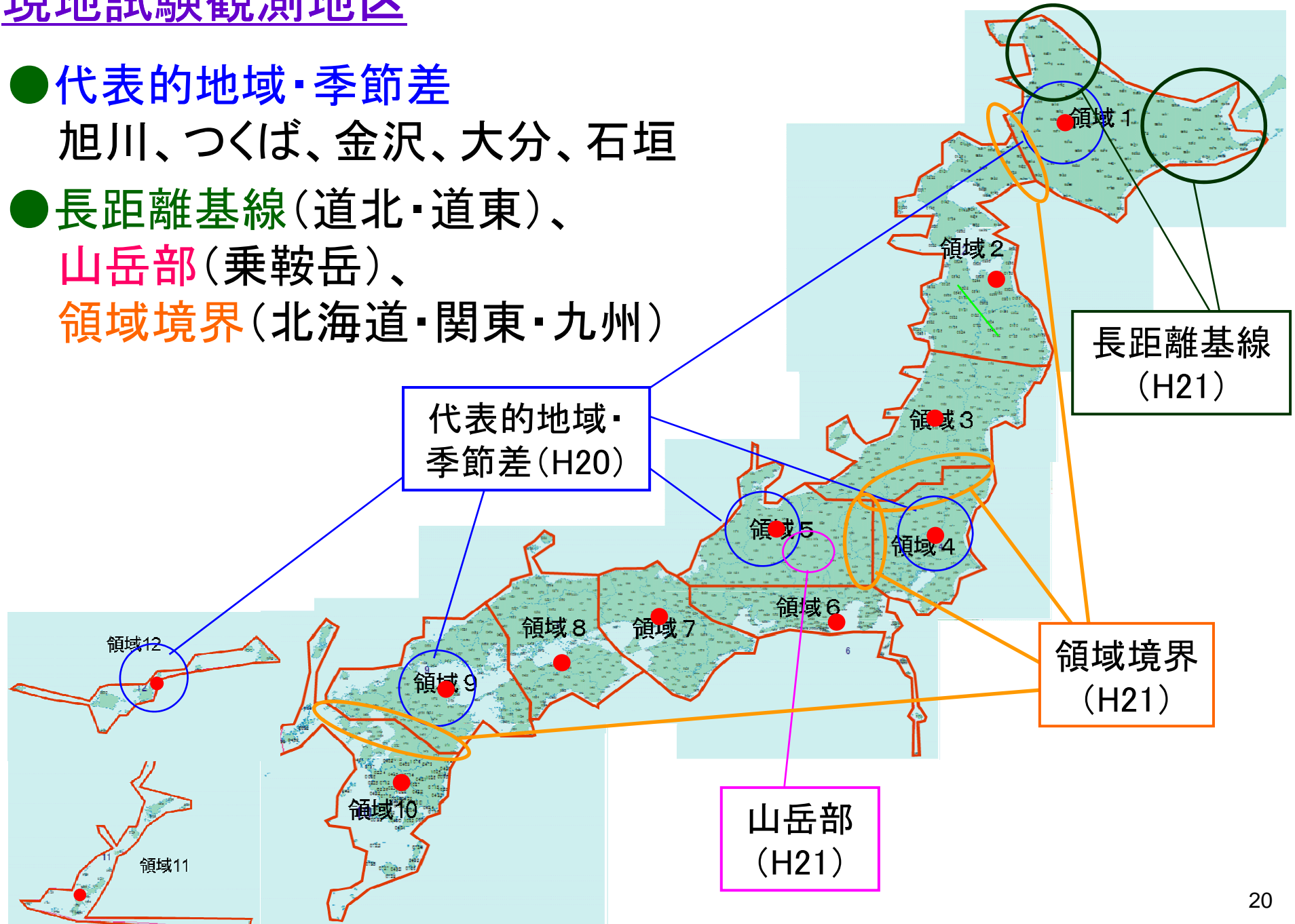
準天頂衛星からの配信を‘模した’試験観測(H20・21)

- ・測位補正情報をスカパーJSAT社の静止通信衛星にて配信



現地試験観測地区

- 代表的地域・季節差
旭川、つくば、金沢、大分、石垣
- 長距離基線(道北・道東)、
山岳部(乗鞍岳)、
領域境界(北海道・関東・九州)

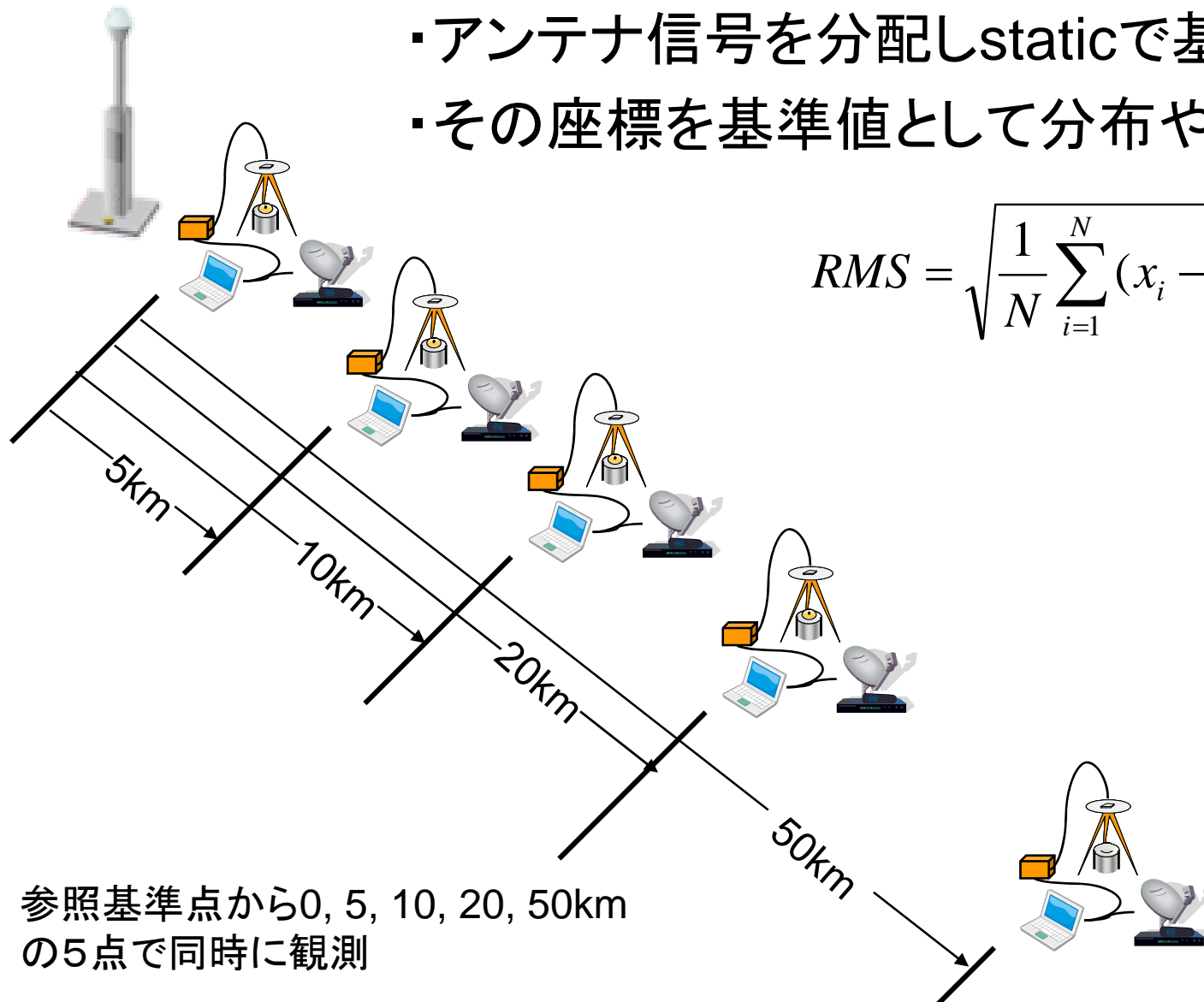


① 代表的地域・季節差 (H20)

参照基準点

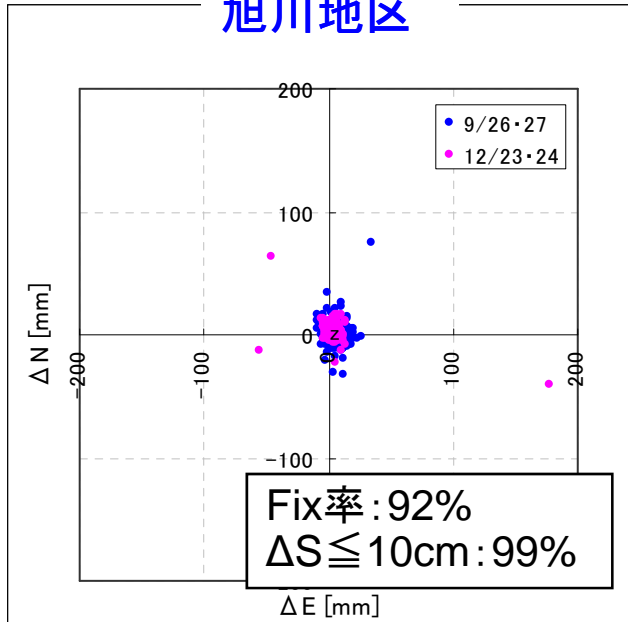
- ・アンテナ信号を分配しstaticで基準座標算出
- ・その座標を基準値として分布やRMSを評価

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_{true})^2}$$

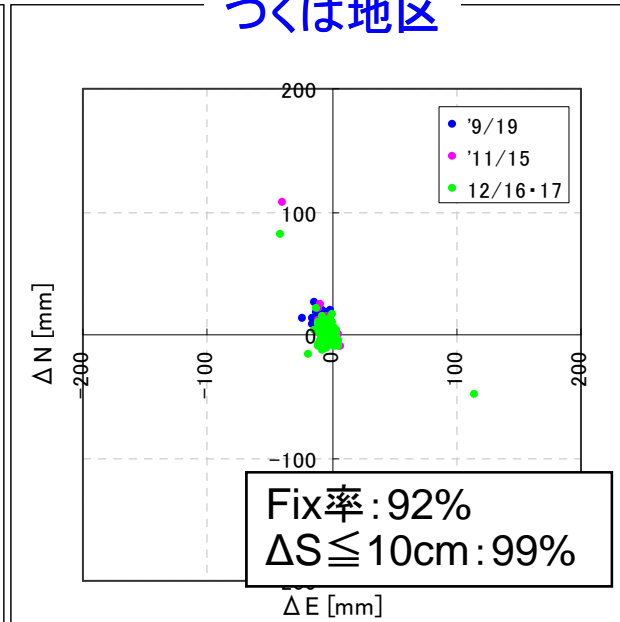


水平分布

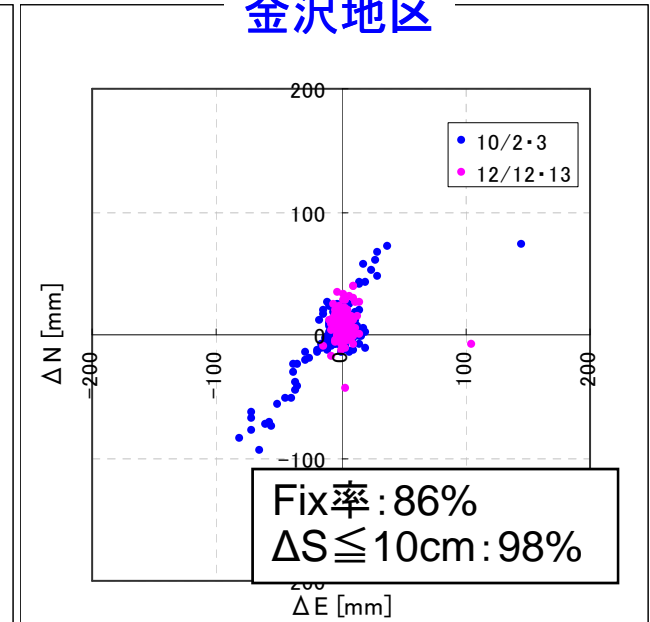
旭川地区



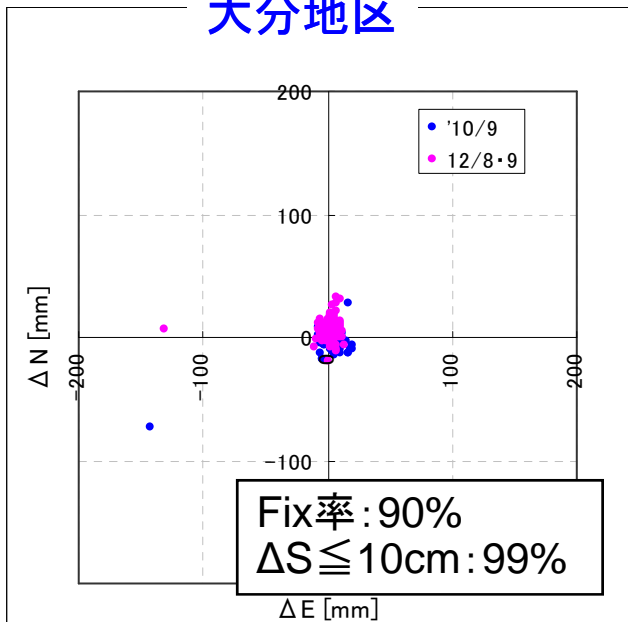
つくば地区



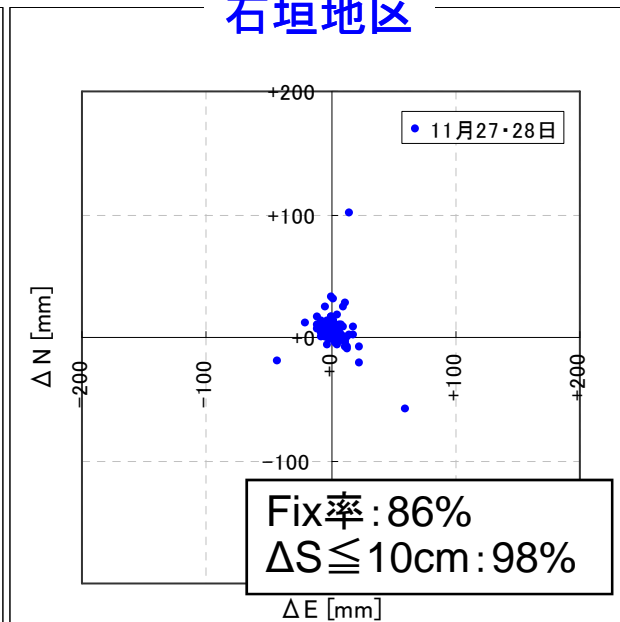
金沢地区



大分地区

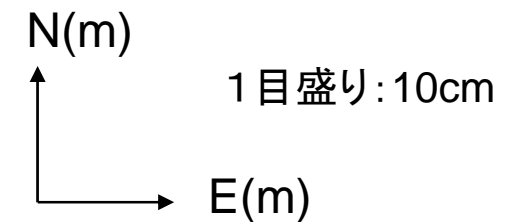


石垣地区



Fix率: Fix解の割合

$\Delta S \leq 10\text{cm}$: Fix解のうち基準値から10cm以内の割合

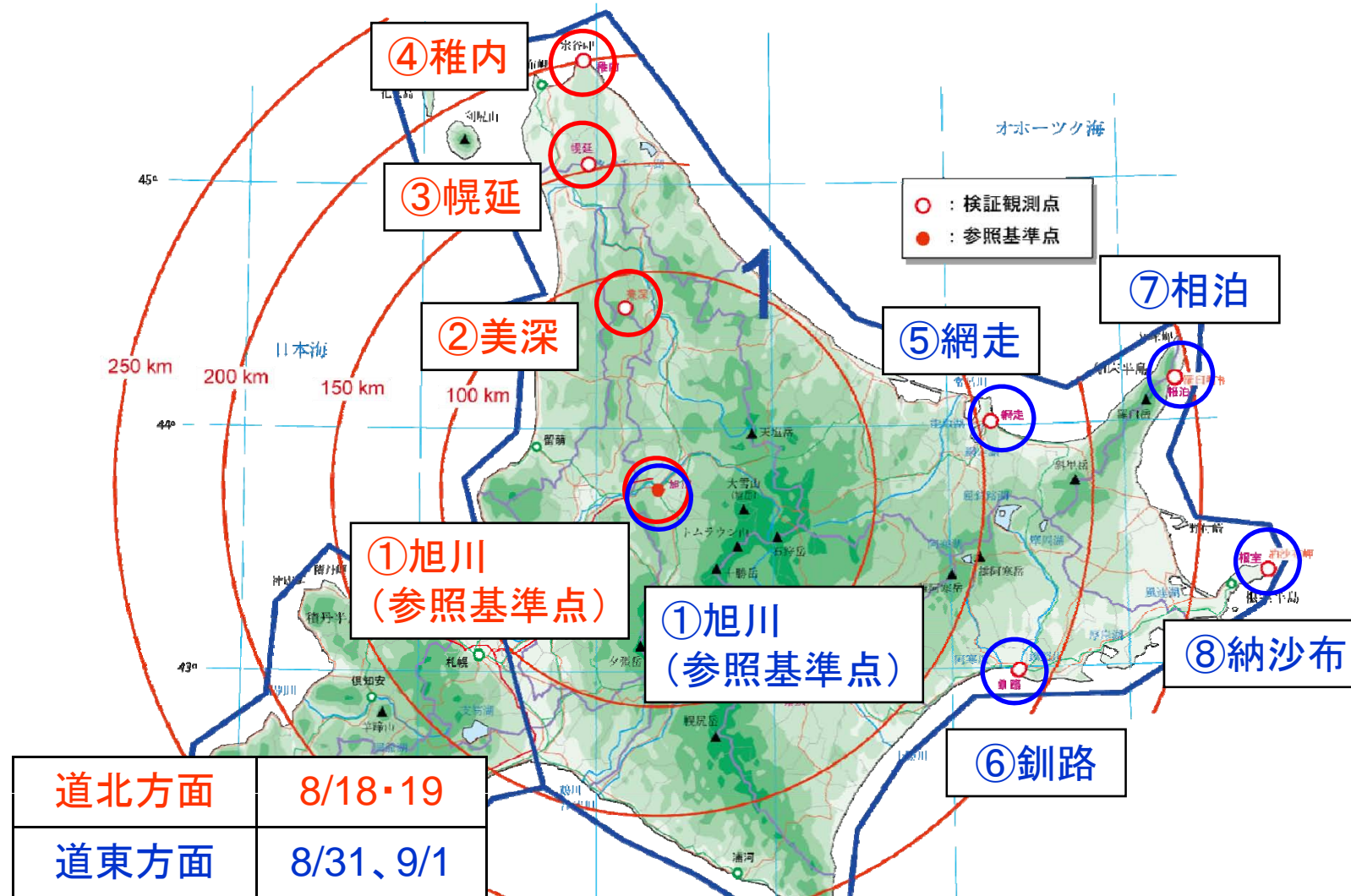


RMS・Fix率

地区名	観測日	RMS (cm)		FIX率	$\Delta S \leq 10\text{cm}$
		水平	上下		
旭川	9/26・27	1.2	2.2	92%	100%
	12/23・24	2.8	2.8	92%	99%
つくば	9/19, 11/15	1.4	2.0	89%	99%
	12/16・17	1.2	2.7	95%	99%
金沢	10/2・3	5.4	5.9	92%	100%
	12/12・13	1.5	2.9	81%	99%
大分	10/9	1.9	10.7	84%	99%
	12/8・9	1.4	4.2	94%	99%
石垣	11/27・28	6.7	8.4	86%	97%

- ・FIX率は80%以上。Fixした解はほぼ10cm以内に分布
- ・RMSは水平で1～6cm、上下で2～10cm
- ・観測時期による有意な差は見られず

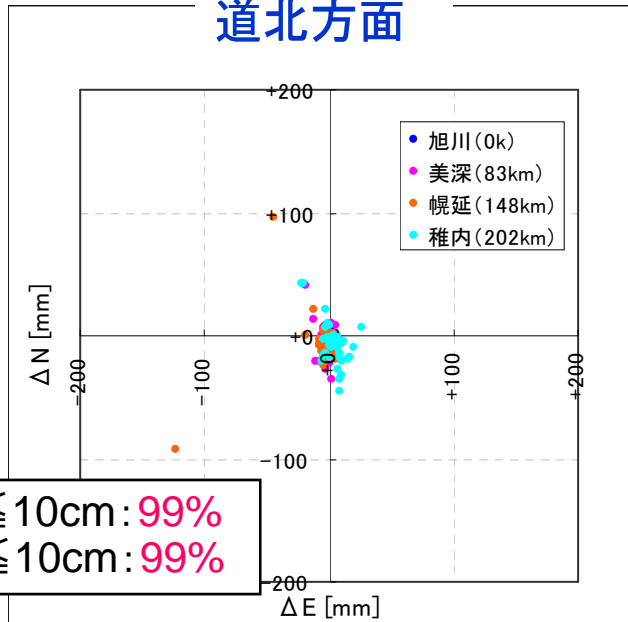
② 長距離基線 (H21)



- ・参照基準点からの基線長が長い場所での測位精度を検証
- ・道北方面(内陸部)及び道東方面(海岸部)で観測

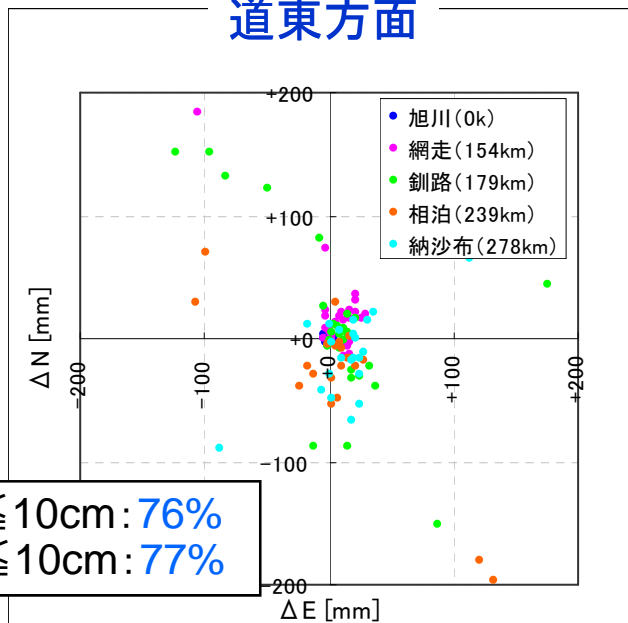
水平分布

道北方面



$\Delta S \leq 10\text{cm}$: 99%
 $\Delta U \leq 10\text{cm}$: 99%

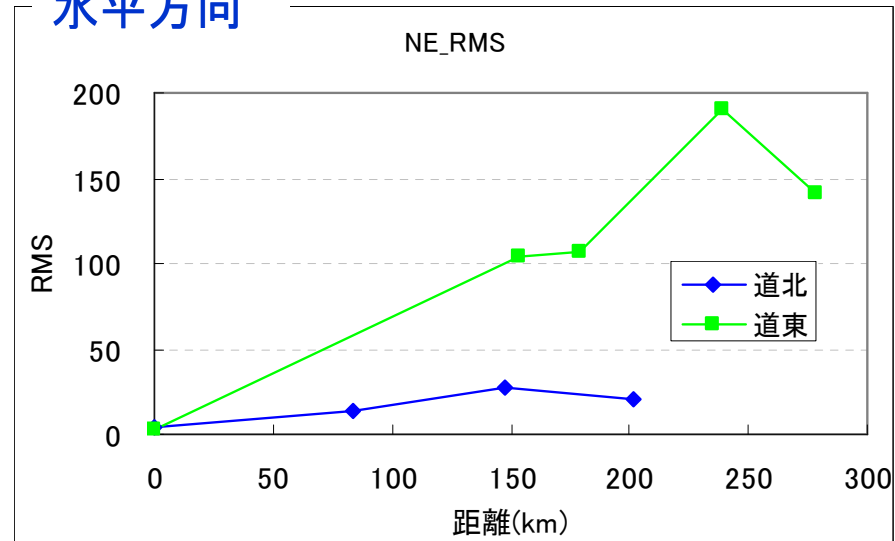
道東方面



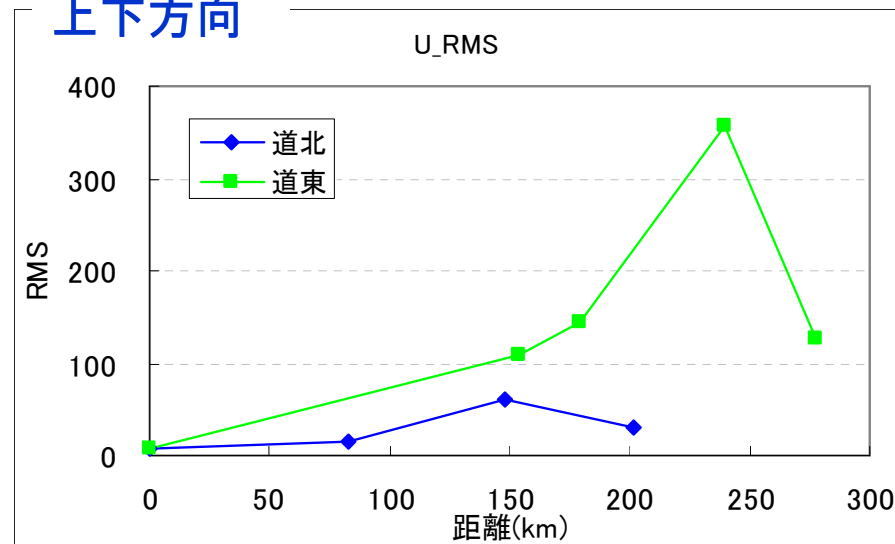
$\Delta S \leq 10\text{cm}$: 76%
 $\Delta U \leq 10\text{cm}$: 77%

RMS

水平方向



上下方向



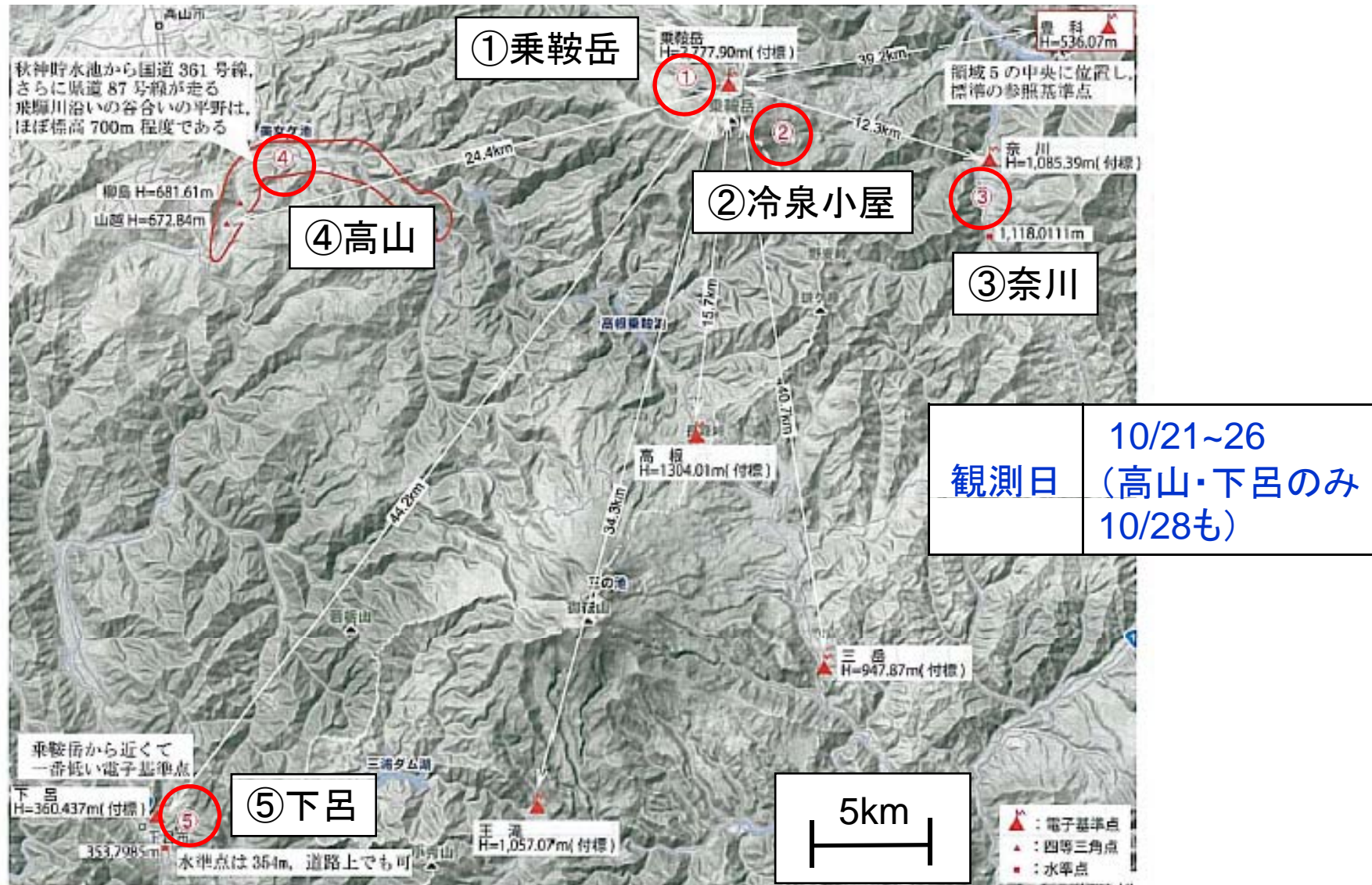
RMS・Fix率

	地区名	参照基準点 との距離	RMS (cm)		FIX率	$\Delta S \leq 10\text{cm}$
			水平	上下		
道北方面 (8/18・19)	①旭川	0km	0.4	0.7	97%	100%
	②美深	83km	1.3	1.5	95%	100%
	③幌延	148km	2.7	6.2	93%	96%
	④稚内	202km	2.0	3.2	70%	100%
道東方面 (8/31,9/1)	①旭川	0km	0.3	0.8	96%	100%
	⑤網走	154km	10.4	10.9	57%	87%
	⑥釧路	179km	10.7	14.4	55%	74%
	⑦相泊	239km	19.0	35.7	43%	71%
	⑧納沙布	278km	14.1	12.8	52%	69%

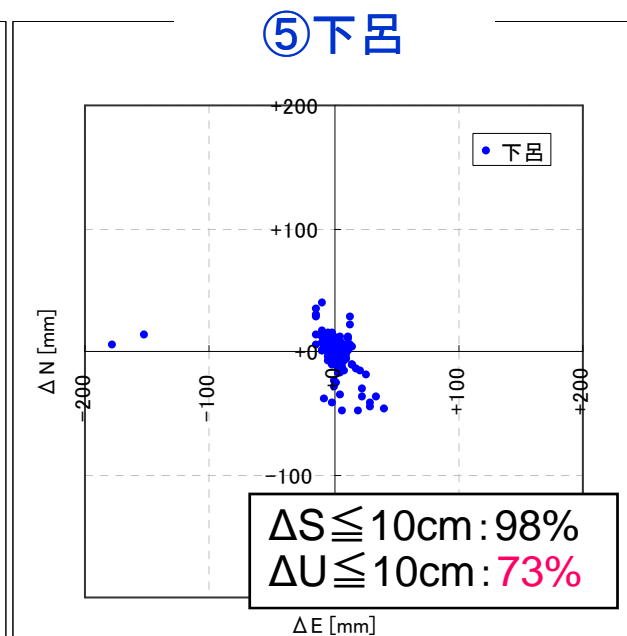
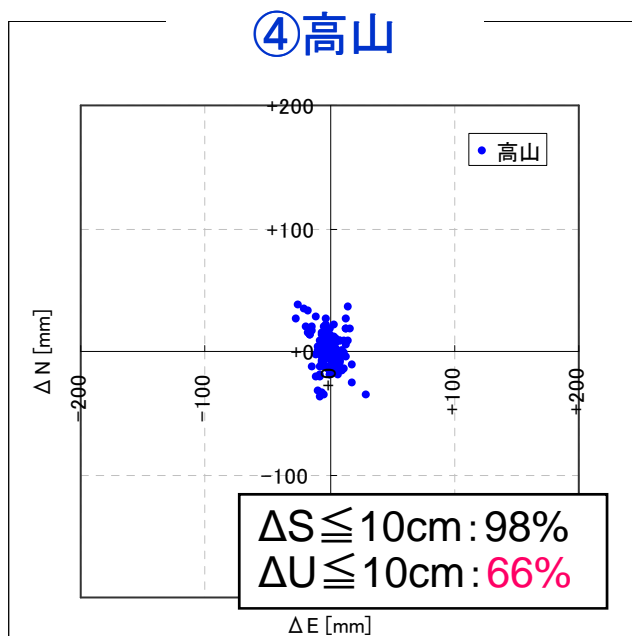
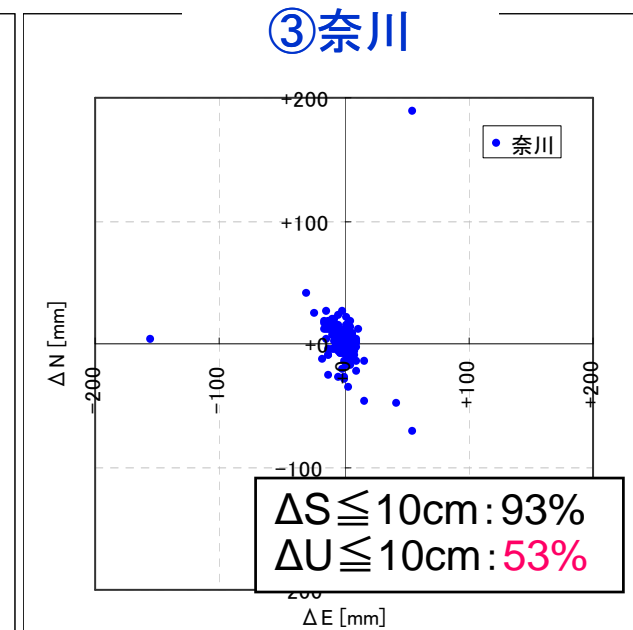
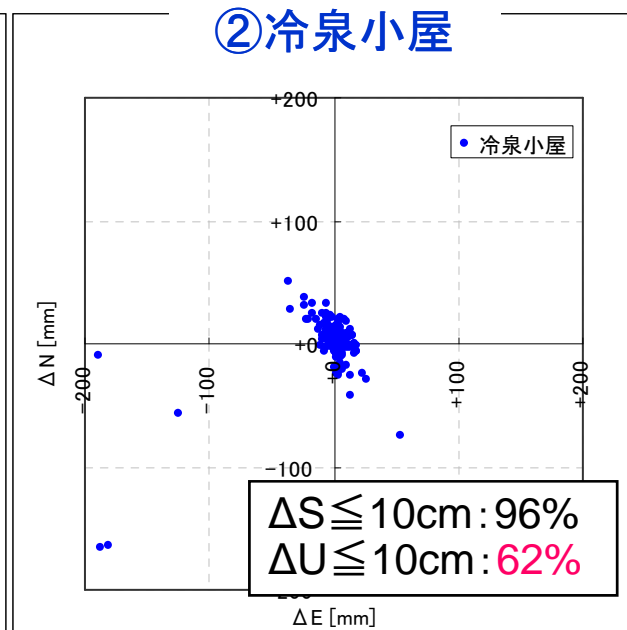
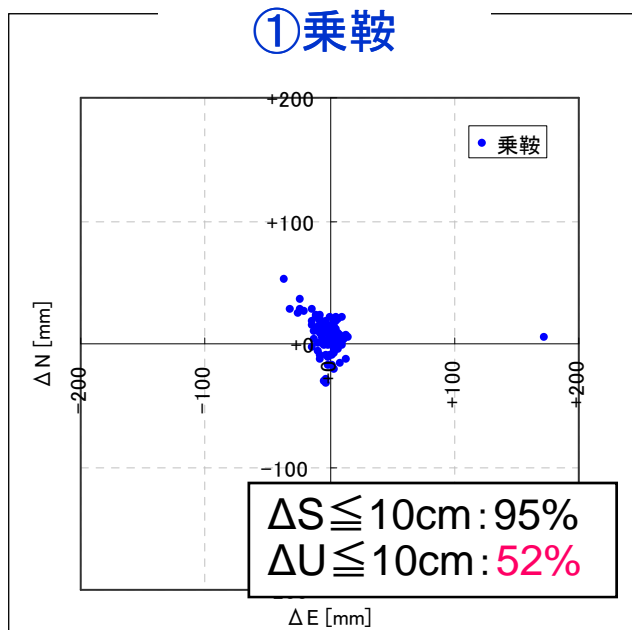
- ・道北(内陸部)に比べて道東(海岸部)でFix率・精度が低下
- ・道北でも稚内についてはFix率が低下
 - 電子基準点網外側のため補正情報精度劣化の可能性

③ 山岳部(乗鞍岳地区)(H21)

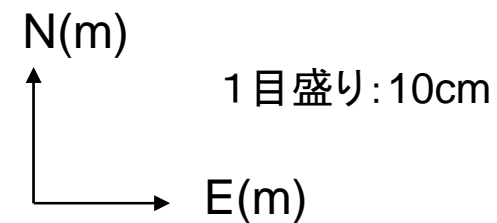
- ・電子基準点との比高差が大きい場所での精度検証



水平分布



Fix解のうち基準値から10cm
以内の割合(水平・上下)



RMS・Fix率

測点名	RMS (cm)		FIX率	$\Delta S \leq 10\text{cm}$	$\Delta U \leq 10\text{cm}$
	水平	上下			
①乗鞍	9.0	18.7	90%	95%	52%
②冷泉小屋	4.8	11.6	84%	96%	62%
③奈川	10.7	17.1	84%	93%	53%
④高山	5.1	11.6	88%	98%	66%
⑤下呂	7.1	13.1	90%	98%	73%

- ・Fix率・水平精度は標準地区並みだが、上下精度が落ちる
- ・周囲の電子基準点との標高差(最大で約1,700m)
→湿潤遅延量の空間内挿がうまくできていない可能性

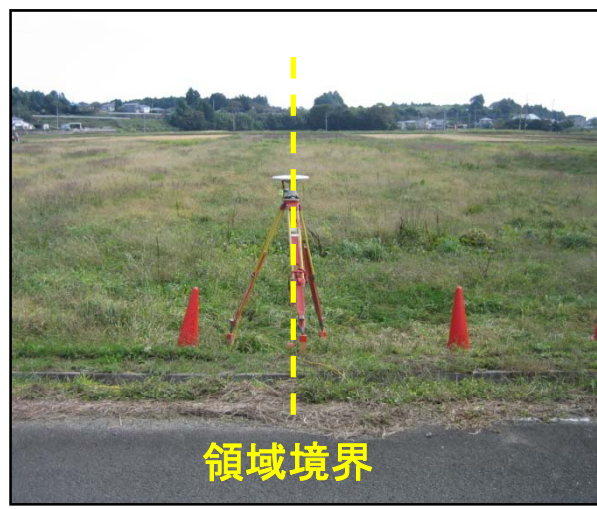
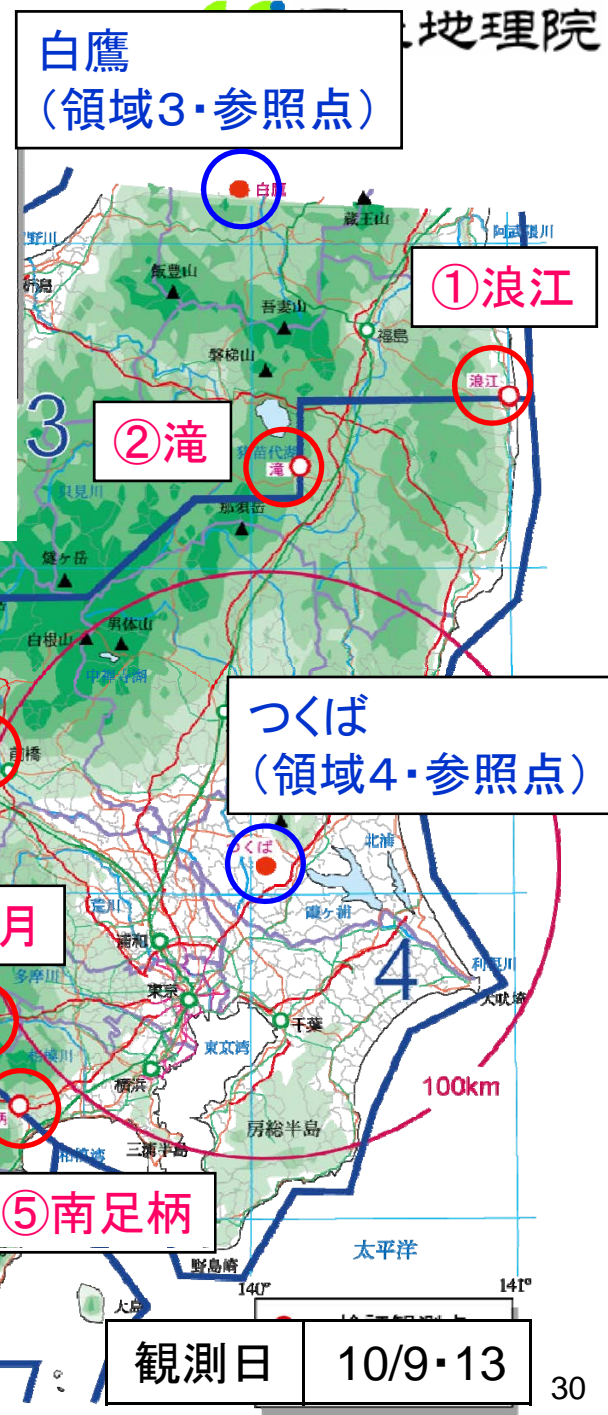
$$\delta T_{w,u} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\delta T_{w,i}}{Dist_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Dist_i}}$$

※測位点周囲75km内の電子基準点を対象

※標高を考慮して補正するようシステム改良を実施(H22)

④ 領域境界(関東地区)(H21)

- ・補正情報の‘縁’での試験観測
- ・隣り合う2つの領域からの補正情報を用いて解析し、整合性を確認



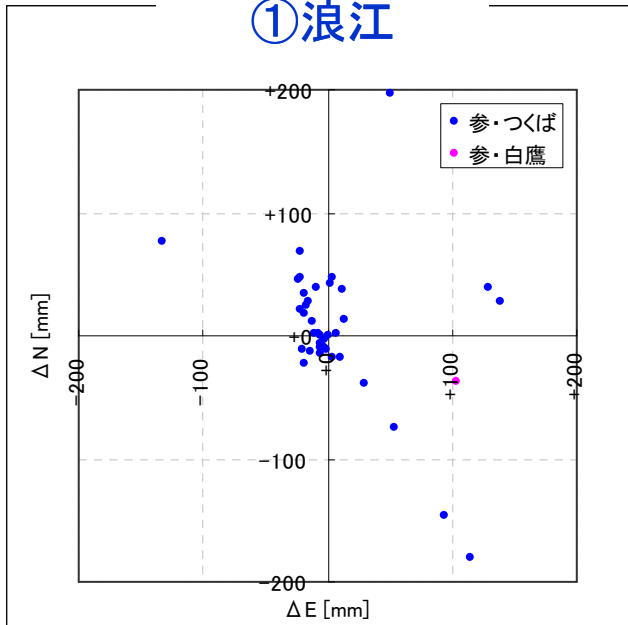
領域境界

観測風景

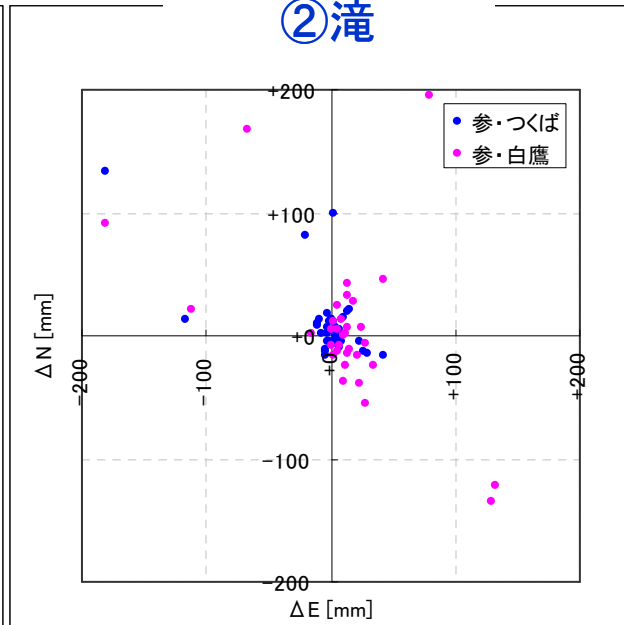
観測日	10/9・13
-----	---------

水平分布

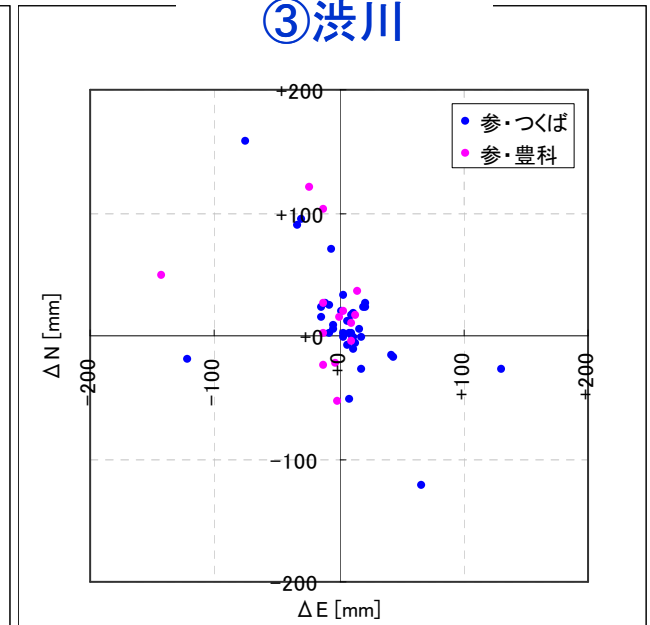
① 浪江



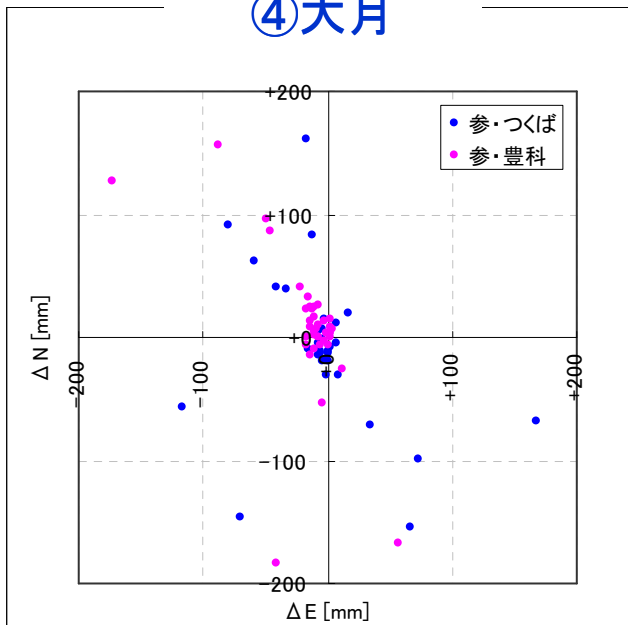
② 滝



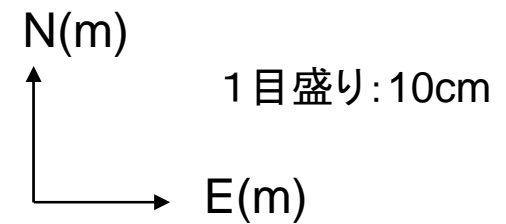
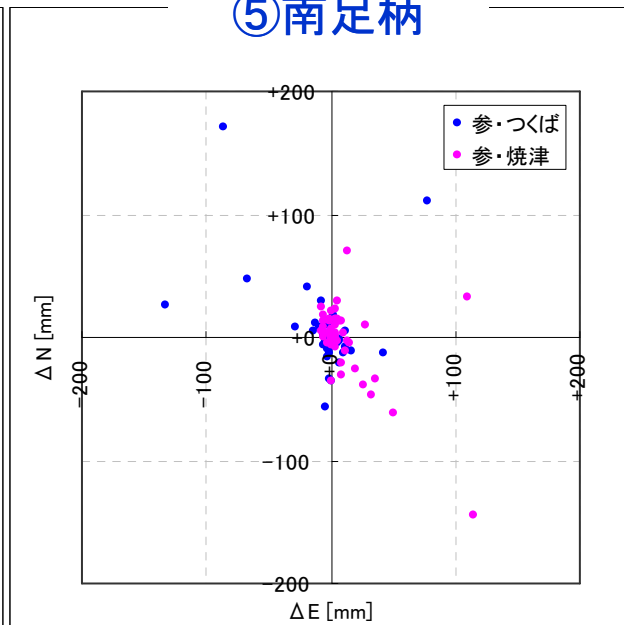
③ 渋川



④ 大月



⑤ 南足柄



測点	補正情報の領域	RMS (cm)		FIX率	$\Delta S \leq 10\text{cm}$	$\Delta U \leq 10\text{cm}$
		水平	上下			
浪江	領域4	10.4	12.3	74%	77%	74%
	領域3	11.0	11.8	2%	0%	0%
滝	領域4	8.3	7.5	78%	87%	84%
	領域3	16.6	21.5	67%	69%	69%
渋川	領域4	12.8	9.5	67%	87%	80%
	領域5	36.4	32.7	45%	42%	42%
大月	領域4	14.9	15.7	70%	69%	77%
	領域5	12.5	10.1	79%	77%	77%
南足柄	領域4	13.7	14.4	79%	76%	74%
	領域6	10.3	13.4	83%	90%	69%

- ・Fix率、RMS共に他の地区より精度が落ちる
 →補正情報の推定がうまくできていない可能性

※補正情報生成に利用する電子基準点の領域拡張(H22)

試験観測で得られた結果(まとめ)

◆ 代表的地域・季節差

- ・Fix率は80%以上。RMSは水平1～6cm、上下2～10cm
- ・Fixした解は基準座標からほぼ10cm以内に分布
- ・観測時期による有意な差はない

◆ 長距離基線(北海道地区)

- ・内陸部では200km基線でRMS2cm(水平)を実現
- ・海岸部では精度低下

◆ 標高差

- ・水平成分に比べ上下成分の精度が低い
→【H22】標高を考慮して大気遅延量を推定するよう改良

◆ 領域境界

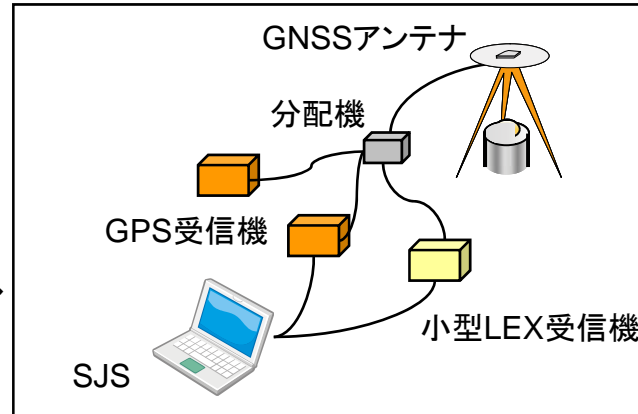
- ・Fix率・測位精度共に他地域より落ちる
→【H22】補正情報生成に使用する電子基準点範囲の拡張見直し

改良を加えたシステムで実機を用いた実証実験を実施

H22年度技術実証実験に係る観測条件等

- ・班編制：2班
- ・使用機器：(1班あたり)

GNSSアンテナ、分配機、
 小型LEX受信機、無線機、
 GPS受信機×2台、
 測量用受信・測位装置(SJS)、
 NW型RTK-GPS(比較用)



観測機器構成図(H22)



- ・観測場所：

- ・既存の公共基準点等
- ・参照基準局との距離、条件(領域境界、山間部、海岸部)考慮
- ・未知点間距離を1級(1000m)、2級(500m)、3級(200m)等相当も想定
- ・観測期間が限られているため、関東地区にて観測

- ・観測条件：

- ・ほぼ全期間・時間帯で仰角60°以上
- ・冬季であるため、雪や観測時間についても考慮

- ・精度評価方法：

- ・並行してstatic観測を行い、測位結果との整合性
- ・NW型RTK-GPS測量の測位結果との整合性
- ・既存の測量成果との整合性

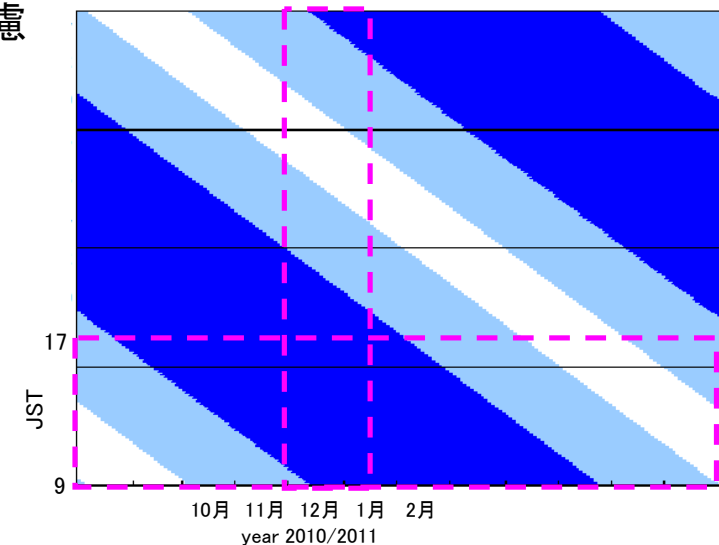


図 東京における‘みちびき’の可視状況
 (濃い部分は仰角60度以上、薄い部分は10度以上)
 宇宙航空研究開発機構.2009
 ユーザインタフェース仕様書(IS-QZSS)の図を修正 34

◆ 平成22年度実証実験地区

I 観測機器・手法の確認等(1地区)

- ・ ①つくば地区

II 基線長による精度検証(10地区)

- ・ 南北方向に基線長を変えて観測
 - 約25km: ②結城地区、③野田地区
 - 約50km: ④宇都宮地区、⑤板橋地区
 - 約75km: ⑥矢板地区、⑦稲城(いなぎ)地区
 - 約100km: ⑧黒磯地区、⑨厚木地区
 - 約125km: ⑩矢吹地区、⑪二宮地区

III 都市部・山間部・領域界・海岸部(4地区)

- ・ 条件の悪い地区での観測
 - 都市部: ⑫日本橋地区
 - 山間部: ⑬日光地区
 - 領域界: ⑭郡山地区
 - 海岸部: ⑮いわき地区

IV 作業マニュアル(案)作成の基礎調査(4地区)

- ・ 実際の測量網を仮定し、観測方式の検討、閉合差の点検方法等
 - ①つくば地区、⑥矢板地区、⑭郡山地区、⑮いわき地区等



contents

- 準天頂衛星
 - GPS補完
 - GPS補強
- 開発した測量向け補正技術
 - 補正技術の概要
 - 試験観測結果
- マルチGNSS測量への取り組み
 - GEONETのGNSS対応
 - マルチGNSS統合解析技術の開発

「GNSS」とは？

- GNSS: Global Navigation Satellite System

Wikipedia (英語版) より:

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) is the standard generic term for **satellite navigation systems** that provide autonomous geo-spatial positioning with global coverage.

‘自立的な地球空間上位置を提供する、地球全体をカバーした
衛星航法システムの一般名称’

※GPS以外にも各国で測位衛星システムが開発されている

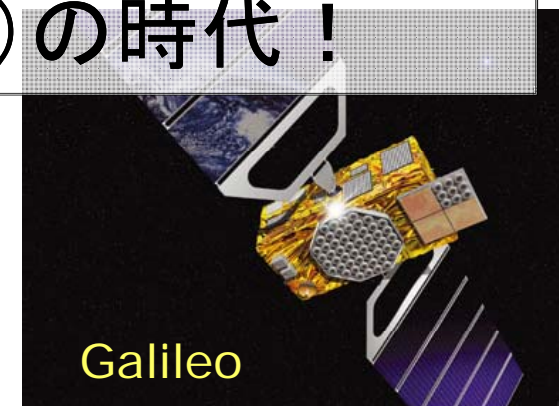
各国の測位衛星システム

GNSS: Global Navigation Satellite system

- GPS : アメリカ
- GLONASS : ロシア
- Galileo : 欧州 + α
- COMPASS(北斗) : 中国
- IRNSS : インド
- QZSS(準天頂衛星) : 日本

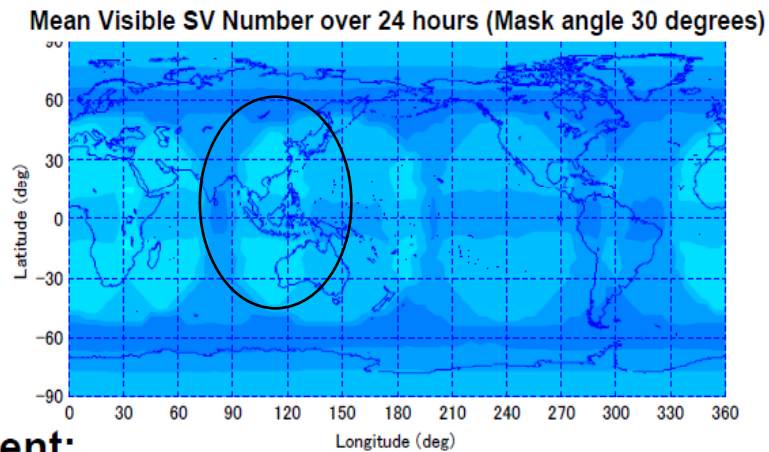


・これまでは '**GPS**' のみの時代
 → これからは '**GNSS**' (多衛星系) の時代!



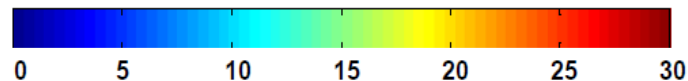
アジア・オセアニア地域の測位衛星可視状況

現状

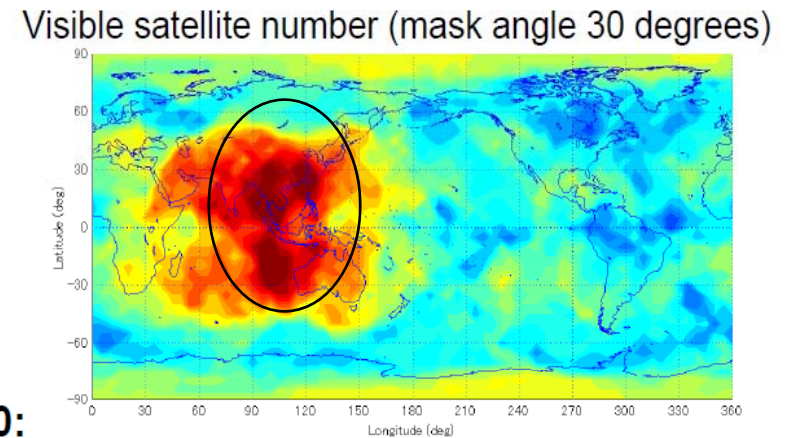


Current:

GPS(27)+Glonass(18)+COMPASS(2)+SBAS(7)



2020年



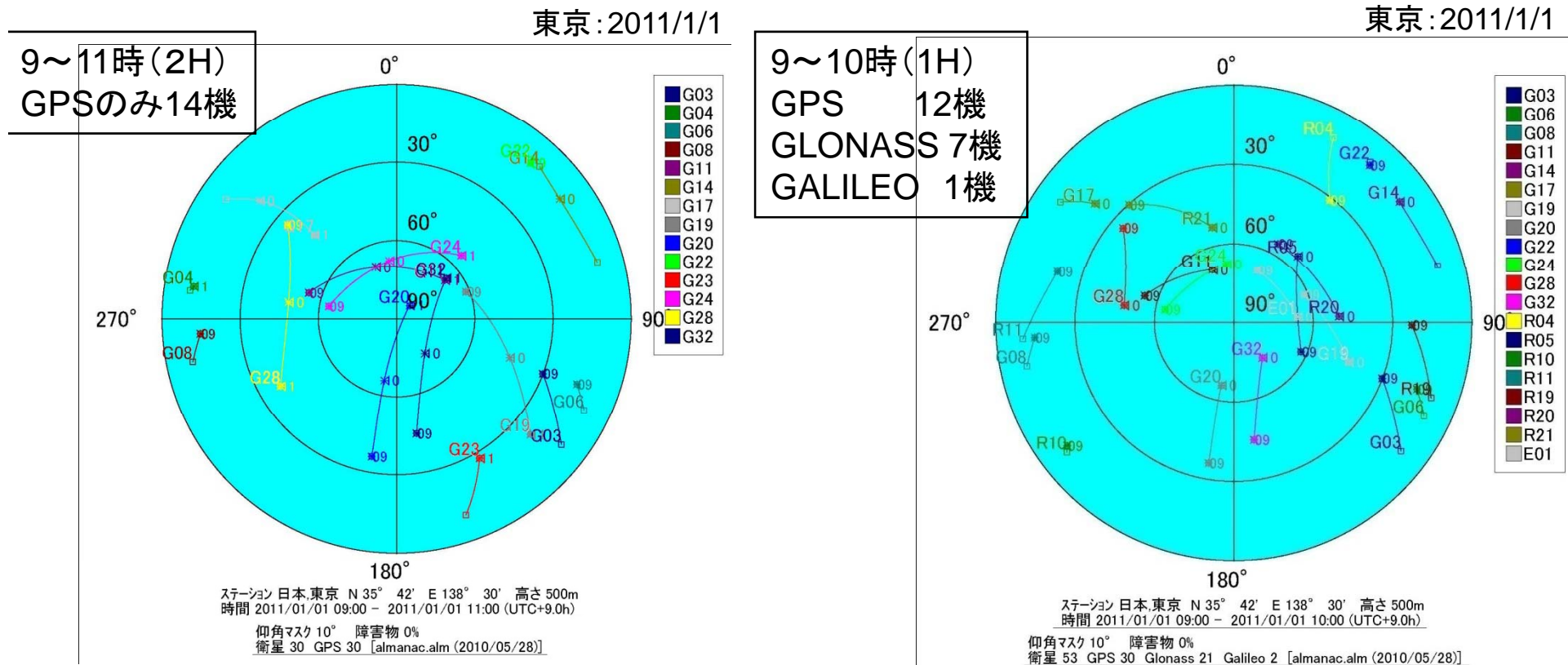
2020:

GPS(27)+Glonass(24)+Galileo(30)+COMPASS(35)+IRNSS(7)+QZSS(3)+SBAS(7)



- 2020年にはQZSを含め各国のGNSS配備が完了
- アジア・オセアニアは常時30機程度が可視できる特異地域

GNSS衛星による可視状況の改善

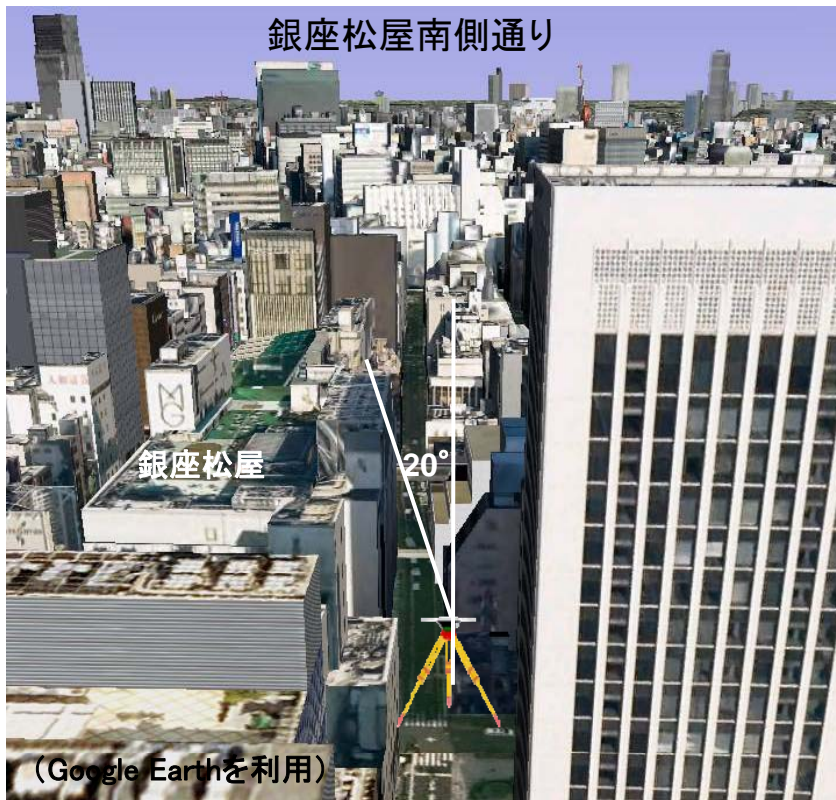


※Trimble planing ver.2.7 による。このソフトには、昨夏(2010年)打ち上げられた準天頂衛星(みちびき)は含まれていない。

- GNSSの1H観測で従来のGPSの2H観測と同等以上の可視衛星
 - 天空上の衛星配置が改善
 - 観測量の増大
- ⇒ 観測時間短縮や精度向上が期待！

測量作業における期待

- 都市部等で高精度衛星測位が可能に → 測量効率の改善

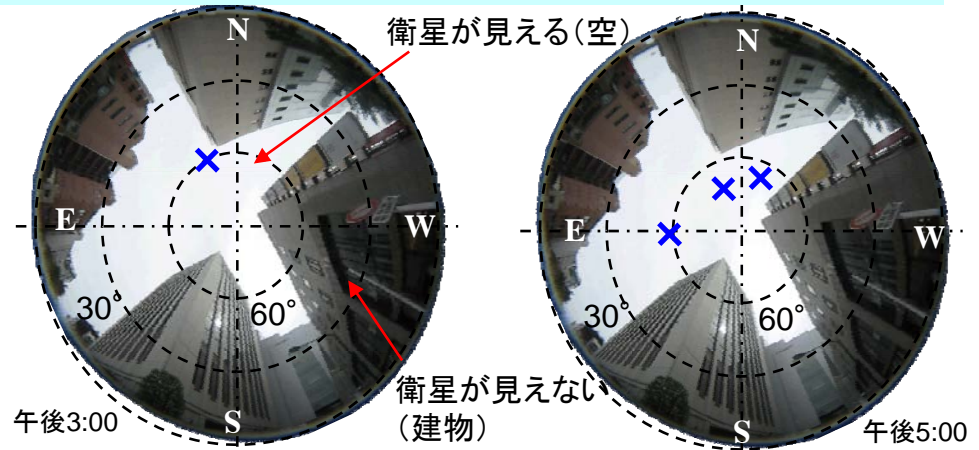


ビル等の影響で
GPSによる高精
度衛星測位不可

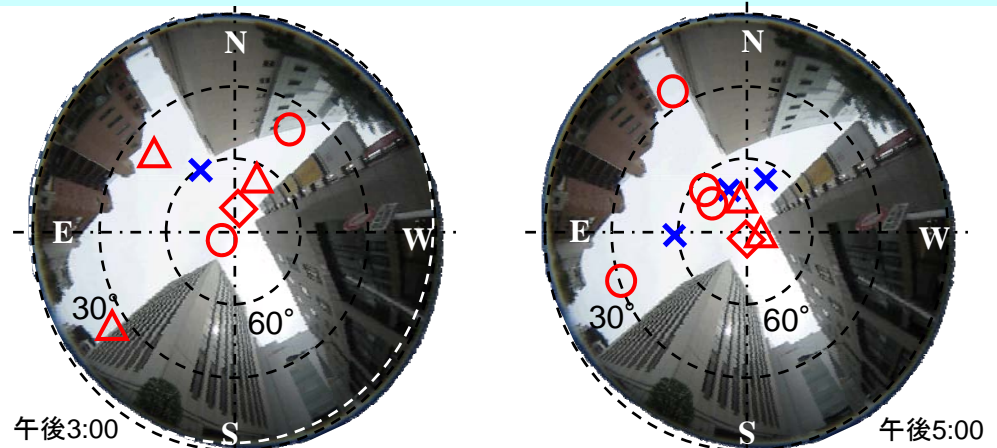


手間のかかる
地上測量(TS
等)を強いられ
ている

GPSのみ 衛星数 1~3機 → 高精度衛星測位:不可

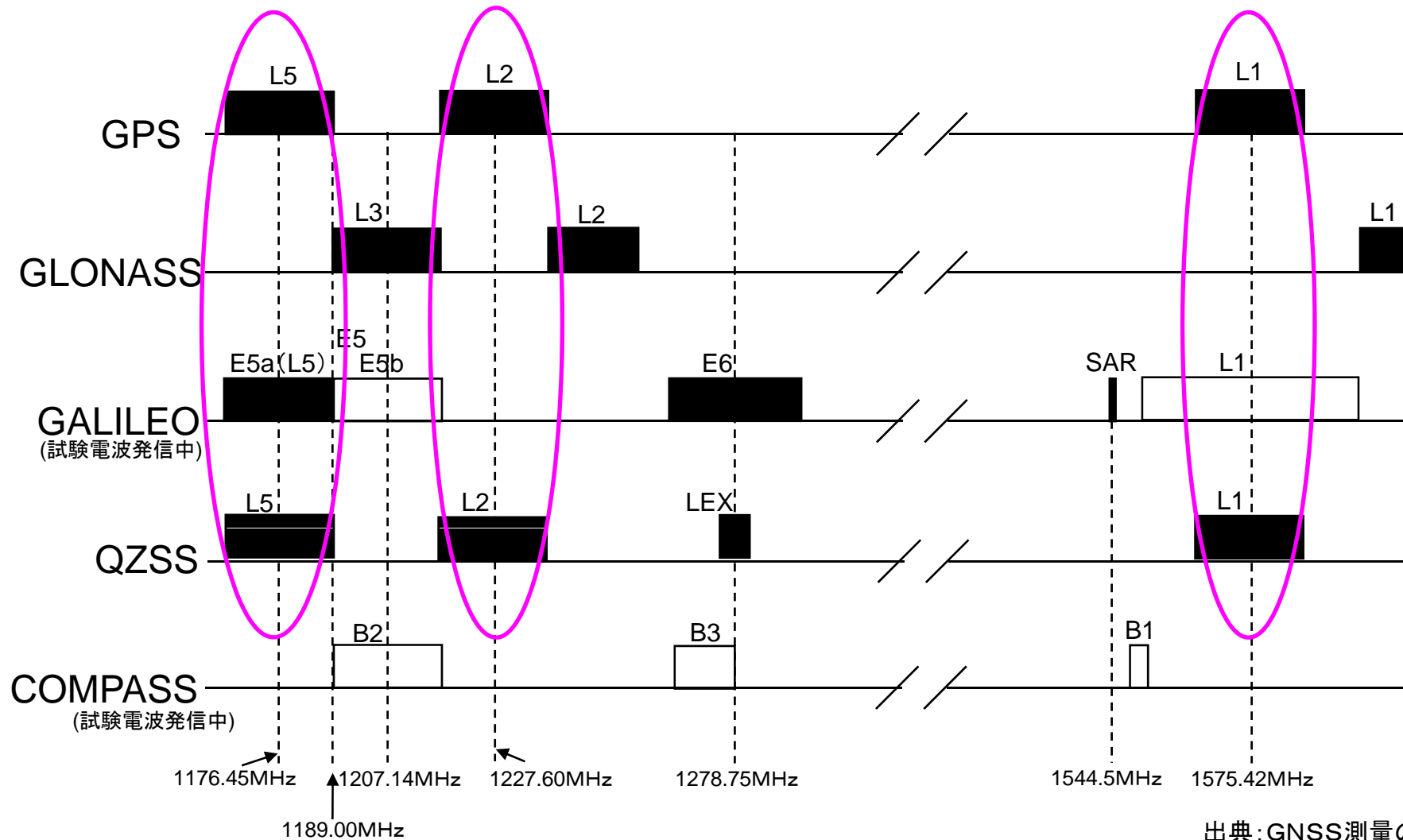


GPS+準天頂◇+グロナス○+ガリレオ△ 計7機以上 → 可



東京銀座 2013年7月21日の可視衛星

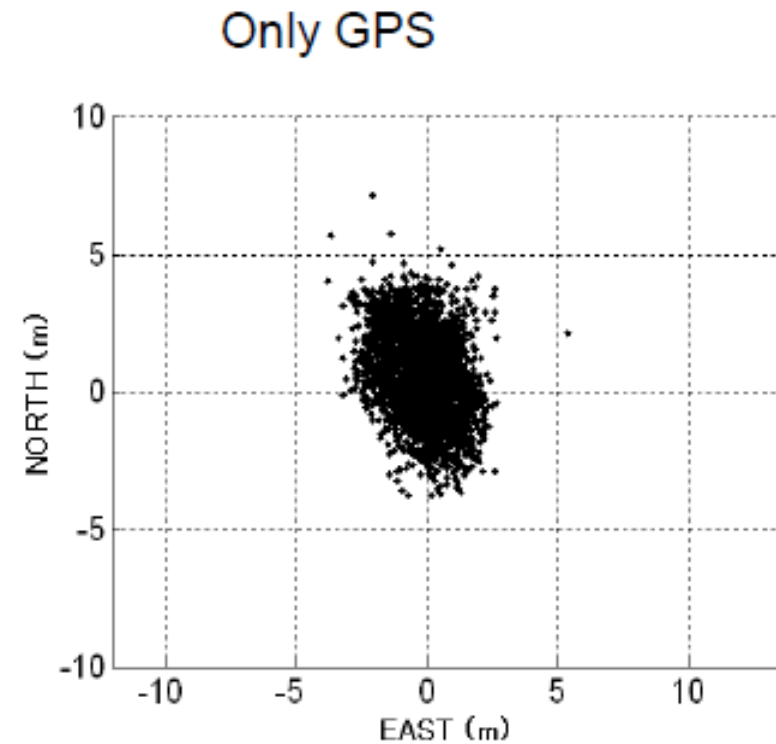
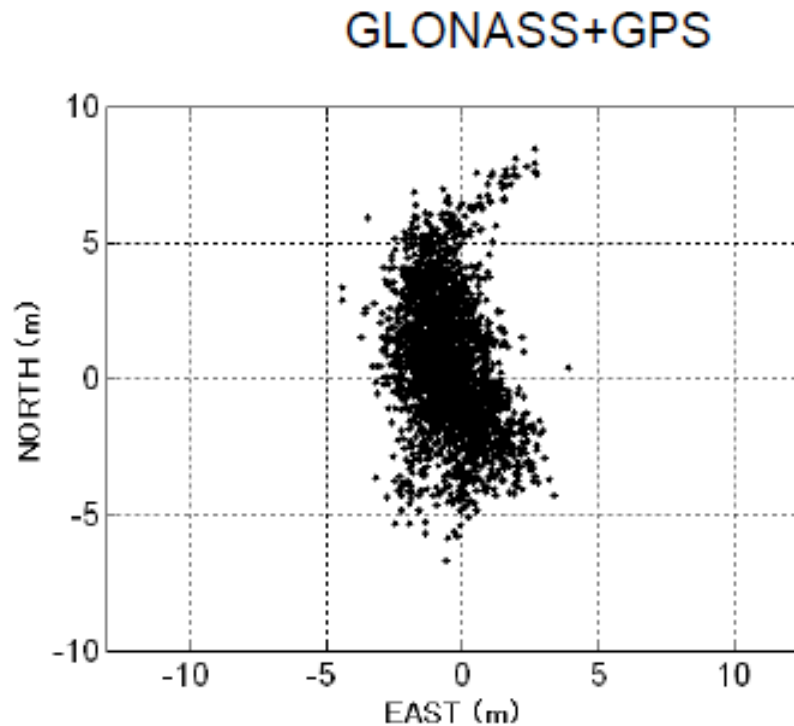
GNSS衛星系の測位電波周波数帯



出典:GNSS測定の基礎

- 衛星系全てで互換性があるわけではない...

GPS+GLONASSの解析結果例



(Yamada, 2007)

- 精度が必ず向上するとは限らない
→悪い方の衛星測位システムに支配
- 各衛星システムでの暦・時計精度の向上が必須

GNSS化で何が変わる？

期待される効果

- 衛星配置の偏りによる誤差(DOP)の改善
- 可視衛星状況の向上
- 多極化による安定的な利用(特定国への依存度低下)
- 多周波数利用による基線解析の高速化(RTK等)
- L5などの新周波数による長距離基線の精度向上 等

課題

- 各システム間の潜在的な誤差(例:座標系、時系)
- 異なる信号方式のデータの扱い
- 統一的な解析方法の確立
- 対応するアンテナ・受信機の開発
- 複数の衛星測位システムの最適な組み合わせ 等

国土地理院のGNSSへの対応

○電子基準点のGNSS対応化

- ・GNSS対応のアンテナ・受信機への交換
- ・提供データのGNSS対応

○国土交通省総合技術開発プロジェクトの申請

- ・‘高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチGNSS）による高精度測位技術の開発’
- ・GNSSデータを解析するための共通プラットフォームの開発

電子基準点のGNSS対応

- ・ マルチGNSS時代に向けた電子基準点の更新
 - 2019年までに受信機・アンテナ更新
 - 併せて解析システム更新
 - データ通信手段の確保

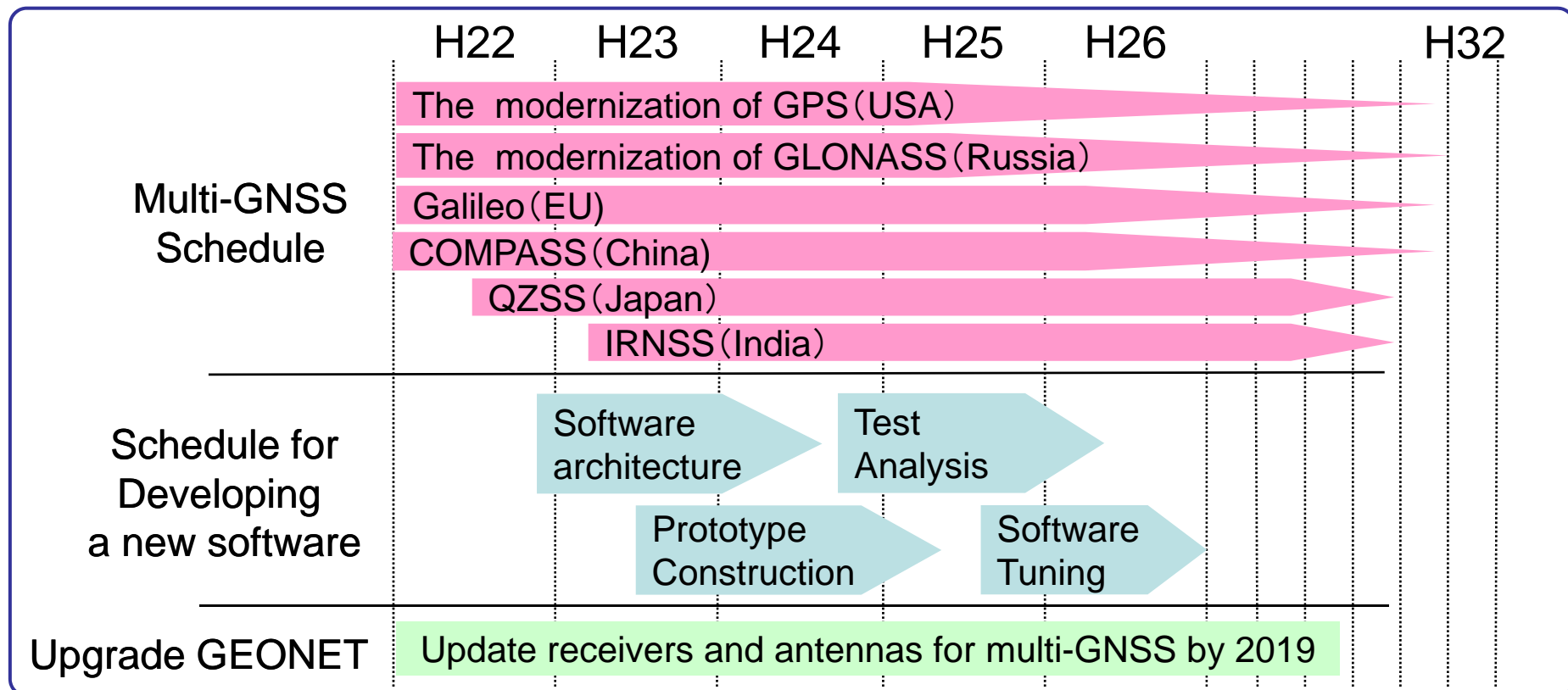
- H21年度更新 (NET-G3 230点) GPS+GAL
- H21年度更新 (NET-G3 220点) GPS+GLO+GAL+QZS
※H22年度ファームウェア更新
- H22年度更新 (NET-R9 80点) GPS+GLO+GAL+QZS
- H23年度以降 (710点)

H22年度末までに、
300局でGNSS対応させることを目指す
(配信はH23年度以降)



マルチGNSS統合解析技術の開発

- ・ 周波数増・衛星数増に対応したマルチGNSS解析システムの開発
- ・ 模擬観測データの解析、現地試験観測データの解析等を通し
最適な衛星組み合わせ・データ補正等の最適条件を確認。
- ・ 作業規程準則改正案、地殻変動把握等への適用指針案の作成
- ・ 国交省新規総プロ(H23~26)として予算要求中



まとめ

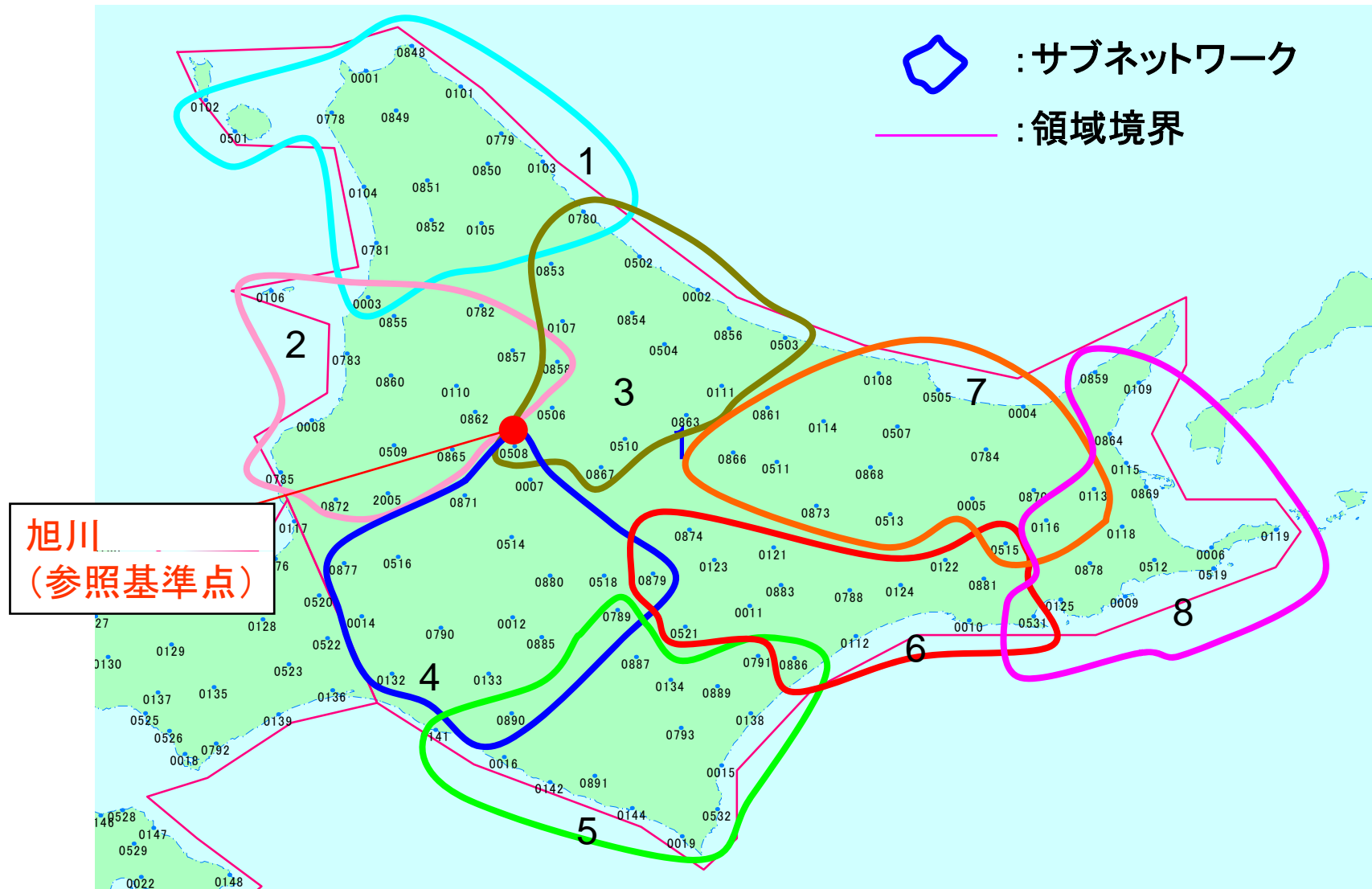
- 測量向け補正技術の開発
 - 国交省・総合技術開発プロジェクトの一環として実施
 - 1周波型受信機を用いる測量向け補正情報
 - 準天頂衛星のLEX信号を用いて配信
 - 測位精度: cm級
 - 「みちびき」実機を用いた技術実証実験を実施
 - どのような測量作業に適用可能かも含めとりまとめ
- GNSSへの対応
 - 電子基準点のGNSS対応化
 - マルチGNSS統合解析技術の開発

(参考資料)

準天頂衛星のここがすごい！ (by JAXA HP)

- 常に日本の天頂方向に1機が飛んでいるような軌道
→ 地表面投影すると非対称8の字
- 楕円軌道のため、最遠点で約40,000kmの高さ
→ GPS(地上約20,000km)に比べてかなり遠い
→ 高精度の原子時計を搭載し、電波の位相や周波数のずれを軽減するための様々な工夫
- ヘリカルアレイアンテナの採用
→ 地上に届く信号強度を均一にする
- GPS衛星の‘補完’だけではなく‘補強’技術の開発

(例) 領域1のサブネットワーク図



※隣り合うサブネットワーク間で約1点～2点重複するようにネットワークを構成

「GNSS」とは？

- GNSS: Global Navigation Satellite System

Wikipedia(英語版)より:

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) is the standard generic term for **satellite navigation systems** that provide autonomous geo-spatial positioning with global coverage.

‘自立的な地球空間上位置を提供する、地球全体をカバーした衛星航法システムの一般名称’

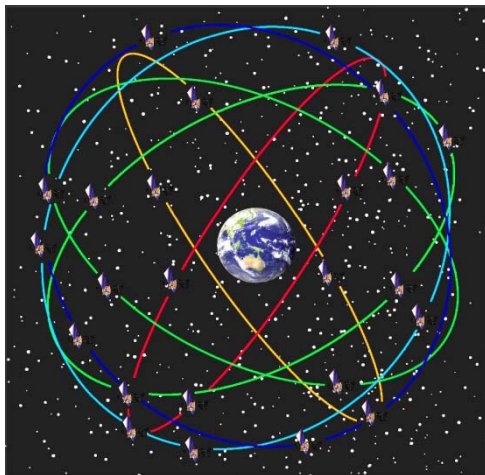
- これまでは ‘GPS’ のみの時代
→ これからは ‘GNSS’ (多衛星系) の時代！

※GPS以外にも各国で測位衛星システムが開発されている

GPS: Global Positioning System



- 31個の周回衛星(公称24個)
- 軌道傾斜角 55° の6軌道面に4衛星ずつ配置
- 現状、単独で完全機能している唯一の測位衛星システム
- 当初は軍事利用目的で開発
→今は広く民生利用
- 近代化計画が進行中



GPS近代化とは？

- 新しい測位用信号、コードの追加

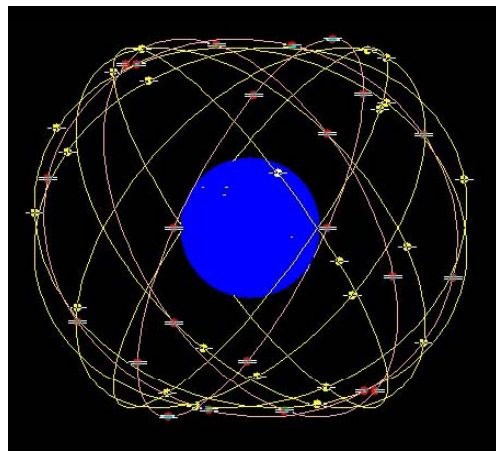
衛星形式	搬送波	新測位符号	打ち上げ予定
Block IIR-M	L1, L2	M, L2C	2005年9月初号機打上
Block IIF	L1, L2, L5	M, L2C	<u>2010年5月初号機打上</u>
Block III	L1, L2, L5	M, L2C, L1C	<u>2013年頃より打上？</u>

- 在来GPS衛星 …… Block IIA
Block IIR
- 近代化GPS衛星 …… Block IIR-M
Block IIF
Block III



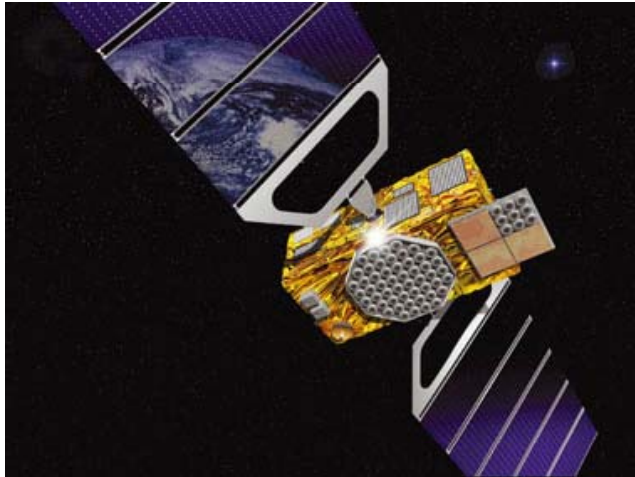
5/28 Block IIF衛星打上げの様子 54

GLONASS: Global Navigation Satellite System

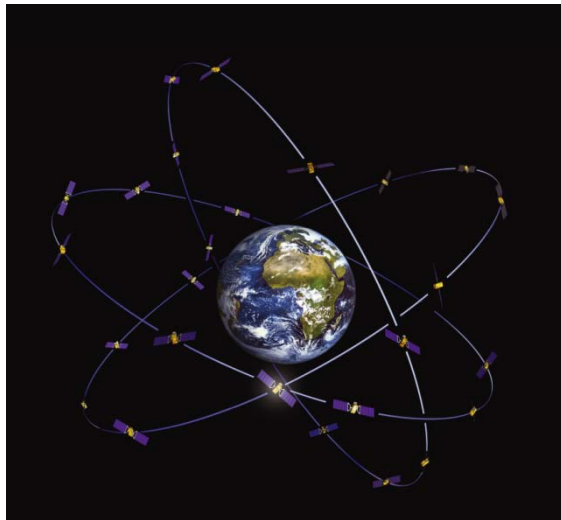


- 総数23機(21機がoperational)
→ソユーズで同時に3機ずつ打上げ
- 周波数分割多重方式を採用
→衛星毎に異なる周波数・同一コード
(※GPSは同一周波数・異なるコード)
- GPSより精度は落ちる
→軌道追跡局がロシア国内限定である
→高周波回路の周波数依存遅延誤差
- 2011年頃に30機完備予定
→2010年中に24機operational体制
- GPSやGALILEOとの互換性を探る動きもある(信号方式等)

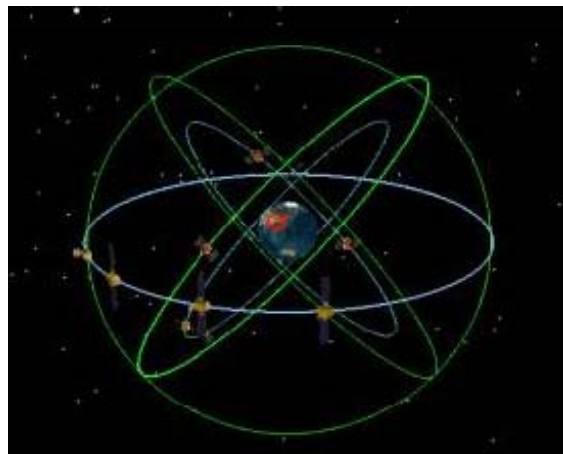
GALILEO: Galileo Positioning System



- 全30機の周回衛星(高度23,222km)
→傾斜角 56° の3軌道面に10機ずつ
- 中国、韓国、インド等も参加
→日本は打診されたが独自路線(QZSS)へ
- 測位精度: 数m(GPSと同程度)
- 多様な測位信号(GPSとも互換)
- 民間主体の測位衛星
→しかし民間側資金不足のためEU拠出
- 2013年までに完備予定だが…
→遅れ気味



COMPASS: COMPASS Navigation Satellite System



- 北斗1号: 4機
 - 初期段階システム
 - 中国国内をカバー
 - 2012までに完備予定

- 北斗2号: 35機
 - 静止衛星5機、周回衛星30機
 - 衛星測位システム
 - GPS、GLONASS、GALLILEOとも互換
 - 2010年1月に3機目打上げ
 - 2020年までの完備目標

- 情報がなかなか出てこない……

IRNSS: Indian Regional Navigation Satellite System



- 全7機の周回衛星
 - 2010年前半に打上げ失敗
 - 2011年に？初号機再打上げ
 - 半年に一回打上げ
- 2014までに完備予定
- インド全域＋1500kmをカバー
 - やはり国防の側面が強い...

QZSS: Quasi-Zenith angle Satellite System



- 2010年9月11日初号機打上
→愛称「みちびき」
- 日本上空に長く滞在する8字軌道
- GPS信号と互換
- 独自補正信号LEXを配信
→測量用、低速移動体用

GSI-LEX初期機能確認試験(H22.11/11・12)



- 補正情報の生成・配信から受信・測位までの過程を準天頂衛星初号機を用いて試験
- 開発した装置で補正情報を利用した測位ができることを確認