

南極上空大気重力波の気球実験における イリジウム衛星通信データの解析システムの 構築【ROIS-DS-JOINT】

加保 貴奈[†] 鈴木 貴登[†] 斎藤 芳隆[‡] 富川 喜弘^{§#}

[†]湘南工科大学 工学部 電気電子工学科

[‡]宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

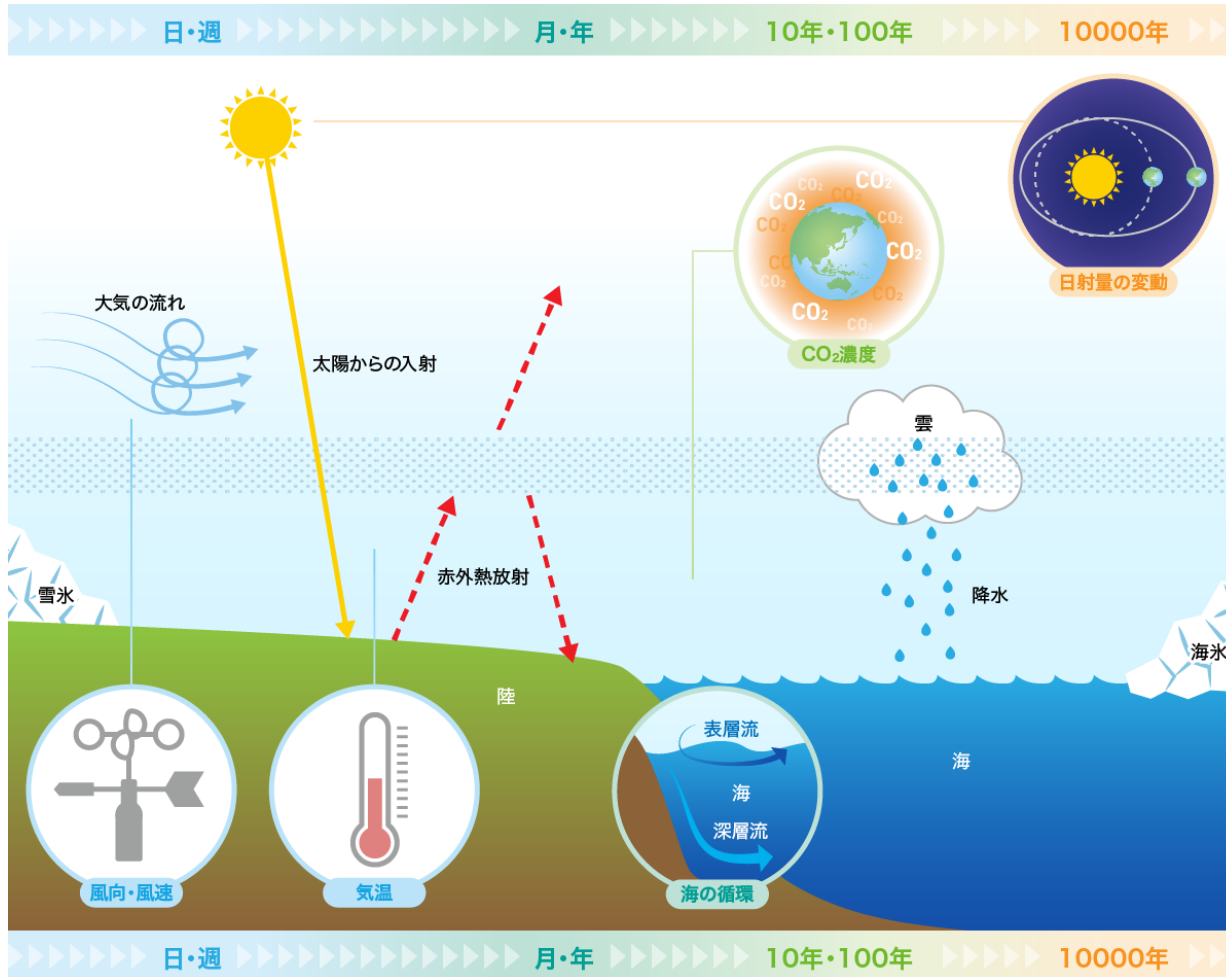
[§] 国立極地研究所、# PEDSC/DS/ROIS

Outline

- **研究の背景と目的**
 - 南極上空の大気重力波測定
 - スーパープレッシャー気球とPANSYレーダ共同観測
- **実験機器の構成**
 - スーパープレッシャー気球
 - 観測機部分
- **実験結果**
 - イリジウム衛星測位 位置情報誤差
 - イリジウム衛星－気球間の通信エラー
- **考察、まとめ**

研究の背景：気候モデル

2021年ノーベル賞受賞：真鍋淑郎博士



<https://www.r-ccs.riken.jp/newsletter/nobel-prize/2021.html>

南極昭和基地大型大気レーダー (PANSY)

高度1~500 kmの3次元風速、
プラズマパラメータを高精度高分解能で観測

昭和基地
(39.6E, 69S)



佐藤薫(東大院理)、堤雅基(極地研)、佐藤亨(京大院情報)、中村卓司(極地研)、
齊藤昭則(京大院理)、富川喜弘(極地研)、西村耕司(極地研)、
高麗正史(東大院理)、橋本大志(京大院情報)、山岸久雄(極地研)、
山内恭(極地研)

<https://pansy.eps.s.u-tokyo.ac.jp/about/index.html>

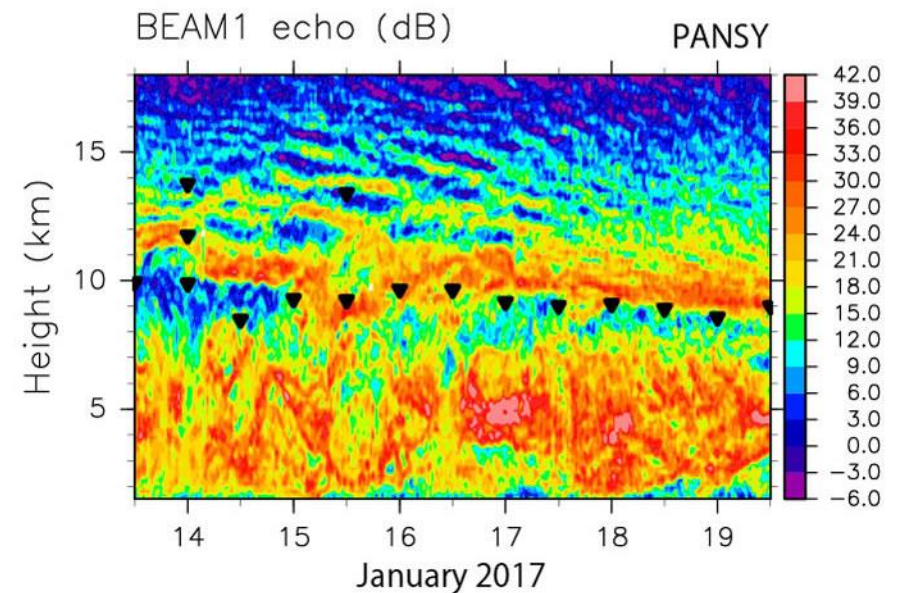
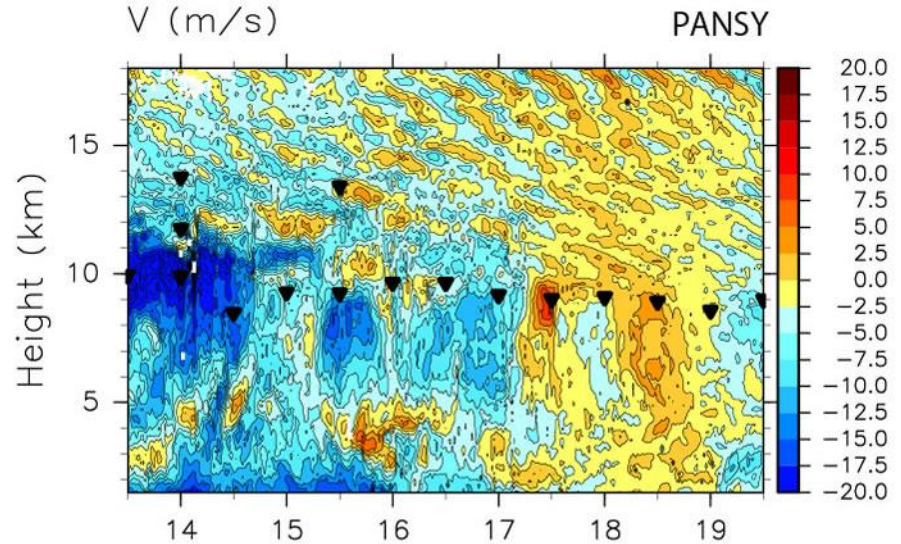
大気重力波（浮力を復元力とする波）

風が山を通過する際などで発生する、斜め上下方向の大気の振動

日々の天気にはあまり影響しないものの、

- ・下部成層圏の弱風層
- ・準2年周期振動
- ・中間圏を含む大気循環の原因であり、大局的な大気力学の理解に不可欠

<https://www-aos.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~sato-lab/research/theme02/>



科学実験用大気球(JAXA)

北海道 大樹町

最大高度53.7 km
日本が世界記録保持



スーパープレッシャー気球

気球に網をかぶせることで耐圧性能の向上を、中にゴム気球を入れた二重膜構造とすることで気密性能の向上を実現

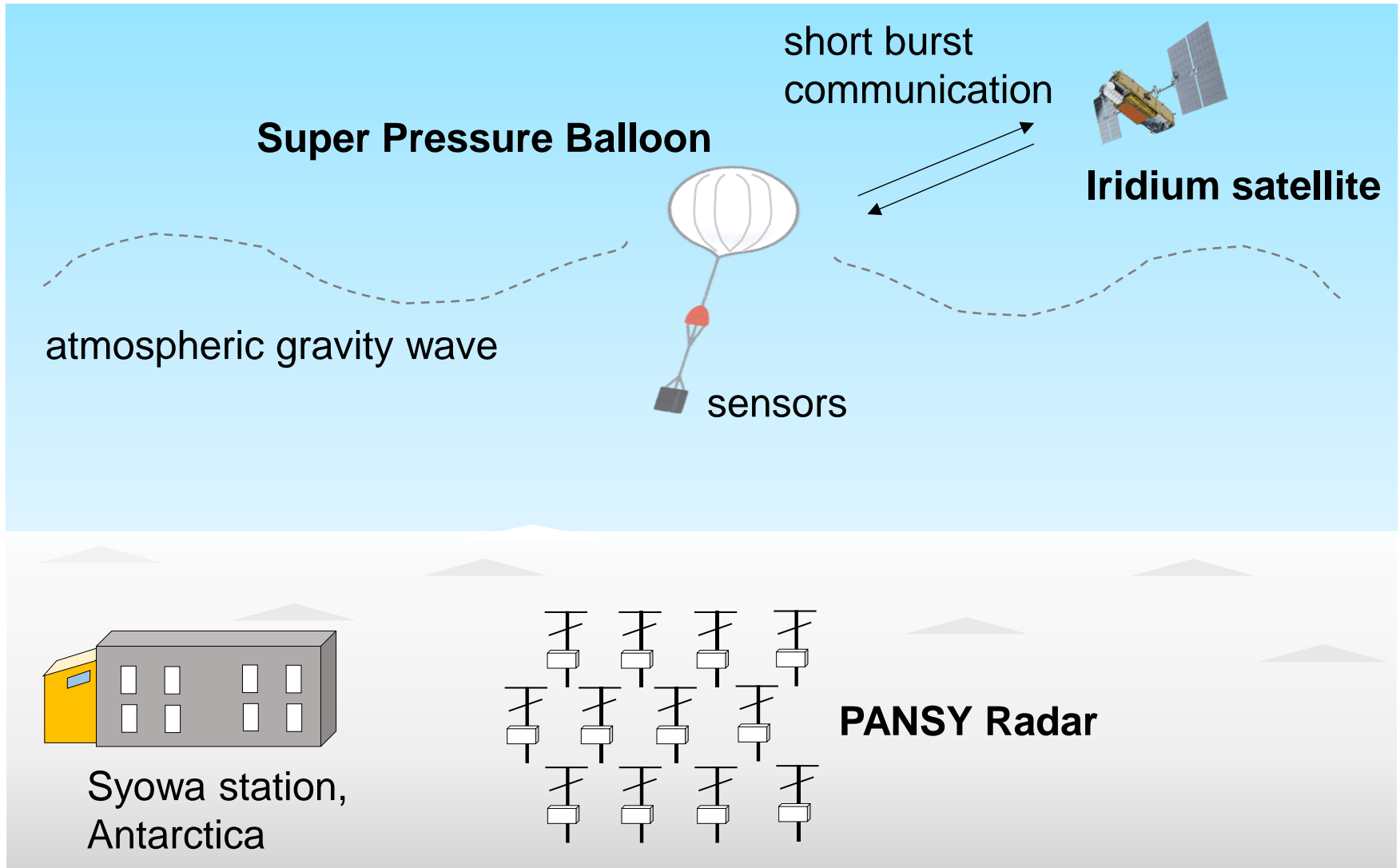
→体積 94m^3 の気球を試作し、
 要求仕様(2400Pa、240時間)を満たす
 耐圧性能3,400Pa、気密性能289時間
 を達成



→飛翔試験用と同じ体積 182m^3 の
 気球を試作し、耐圧性能 $>2,000\text{Pa}$ 、
 気密性能 >240 時間を確認。



スーパープレッシャー気球とPANSYレーダーの大気重力波の共同観測

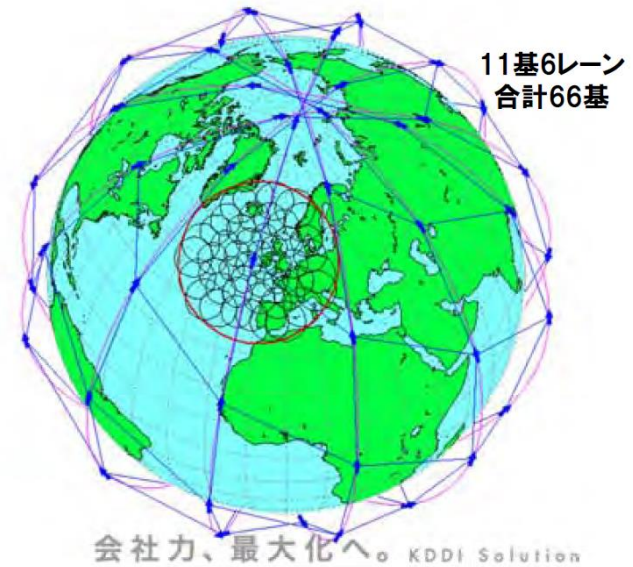
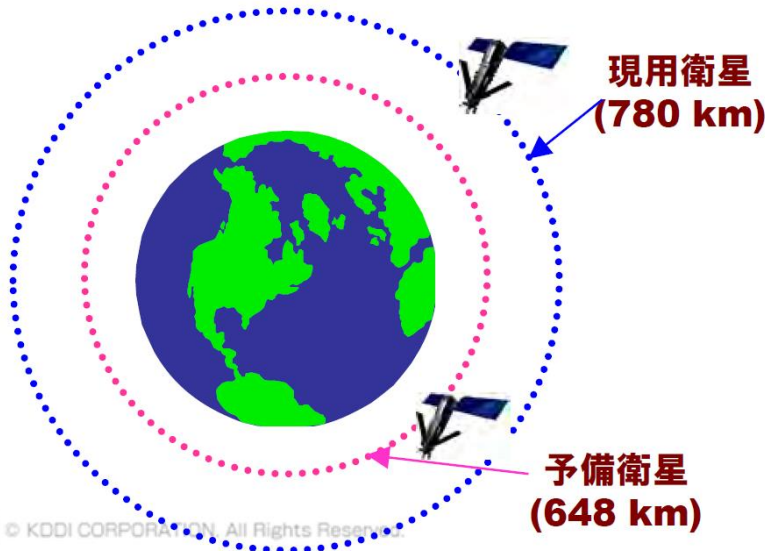


イリジウム衛星について

https://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/chosa/eisei_inet/pdf/bosai_06.pdf

概要

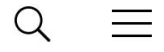
- 地上から780kmの位置に66機の衛星が配置され、上空を周回。
- 66機の衛星は、北極・南極の両極近くで交差する6つのレーン上に、各レーン11機ずつ配置され、ほぼ全世界をカバー。
- 現用衛星以外に予備衛星を配置、現用衛星の障害発生時、代替衛星として使用。



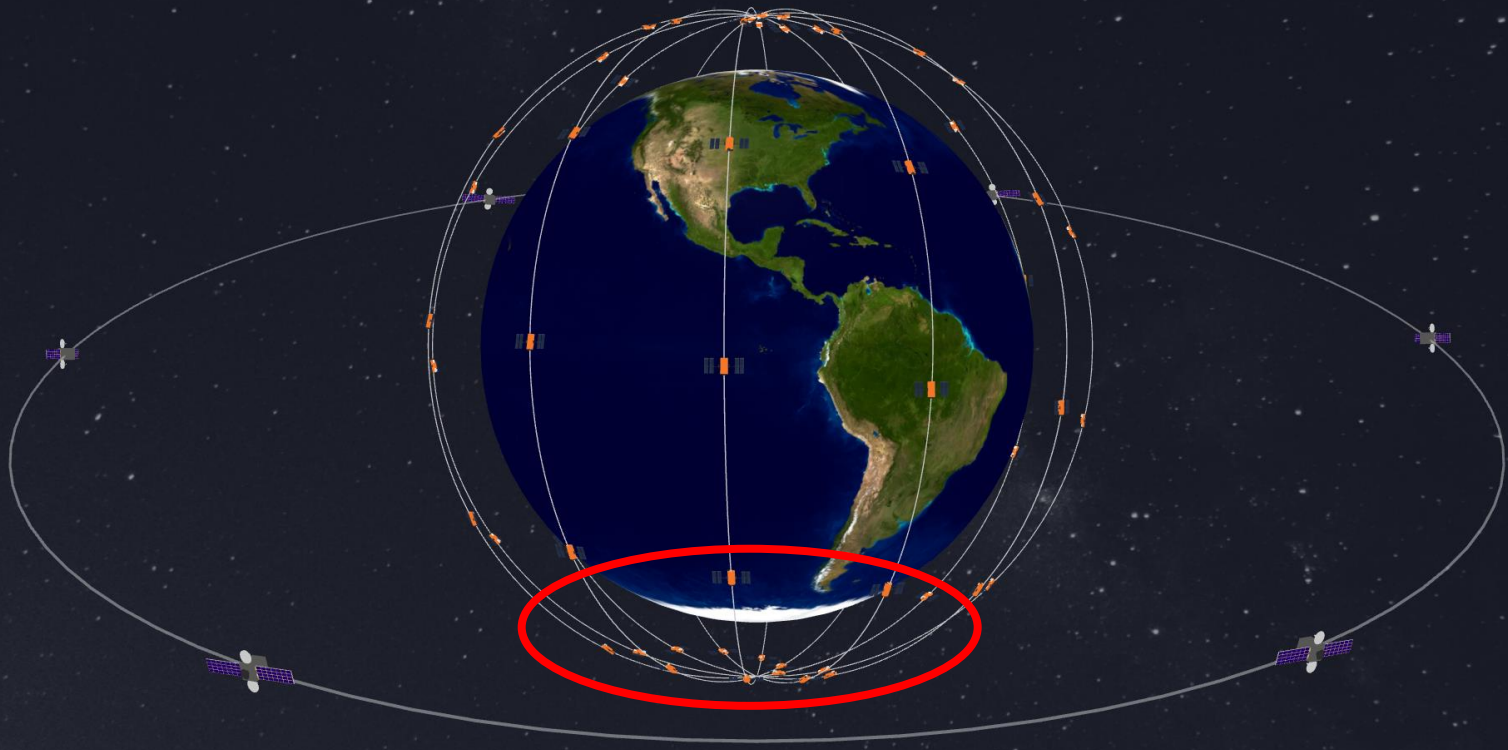
南極エリアはイリジウム衛星数が多い



MARKETS • TECHNOLOGY • INSIGHTS • SUPPORT • LOGIN



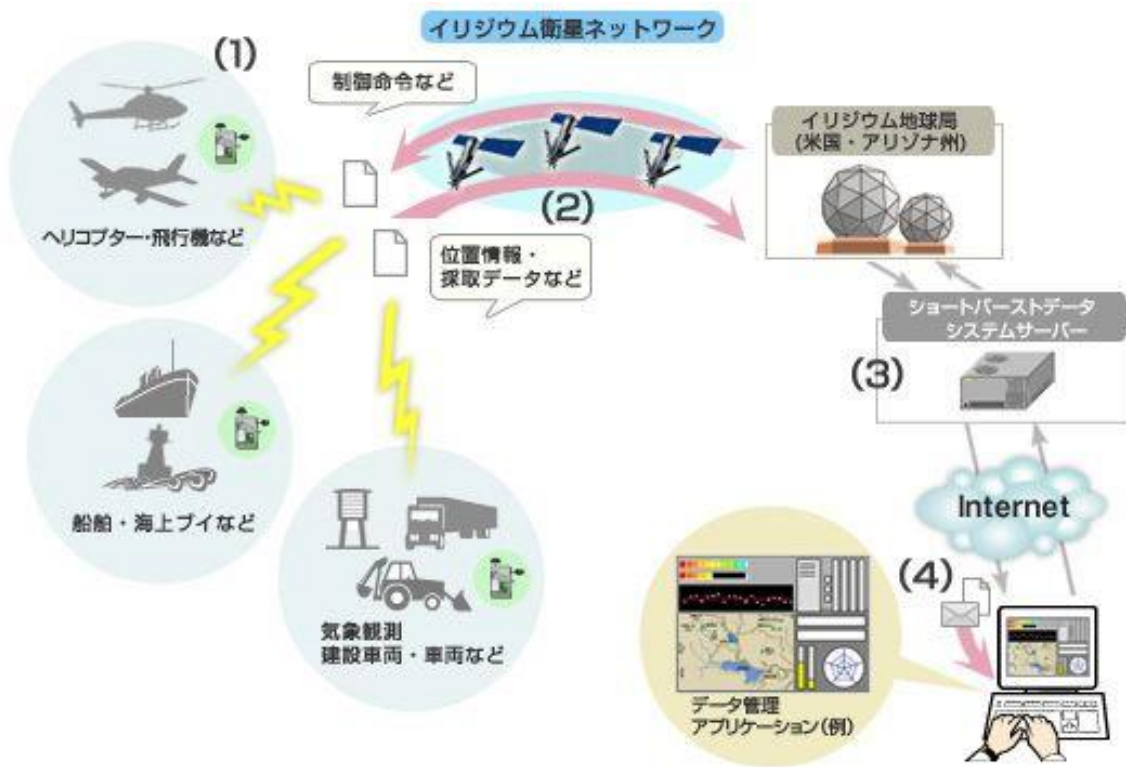
Most other networks use geostationary orbit (GEO) at about 35,000 kilometers (22,000 miles) from the planet.



<https://www.iridium.com/network/>

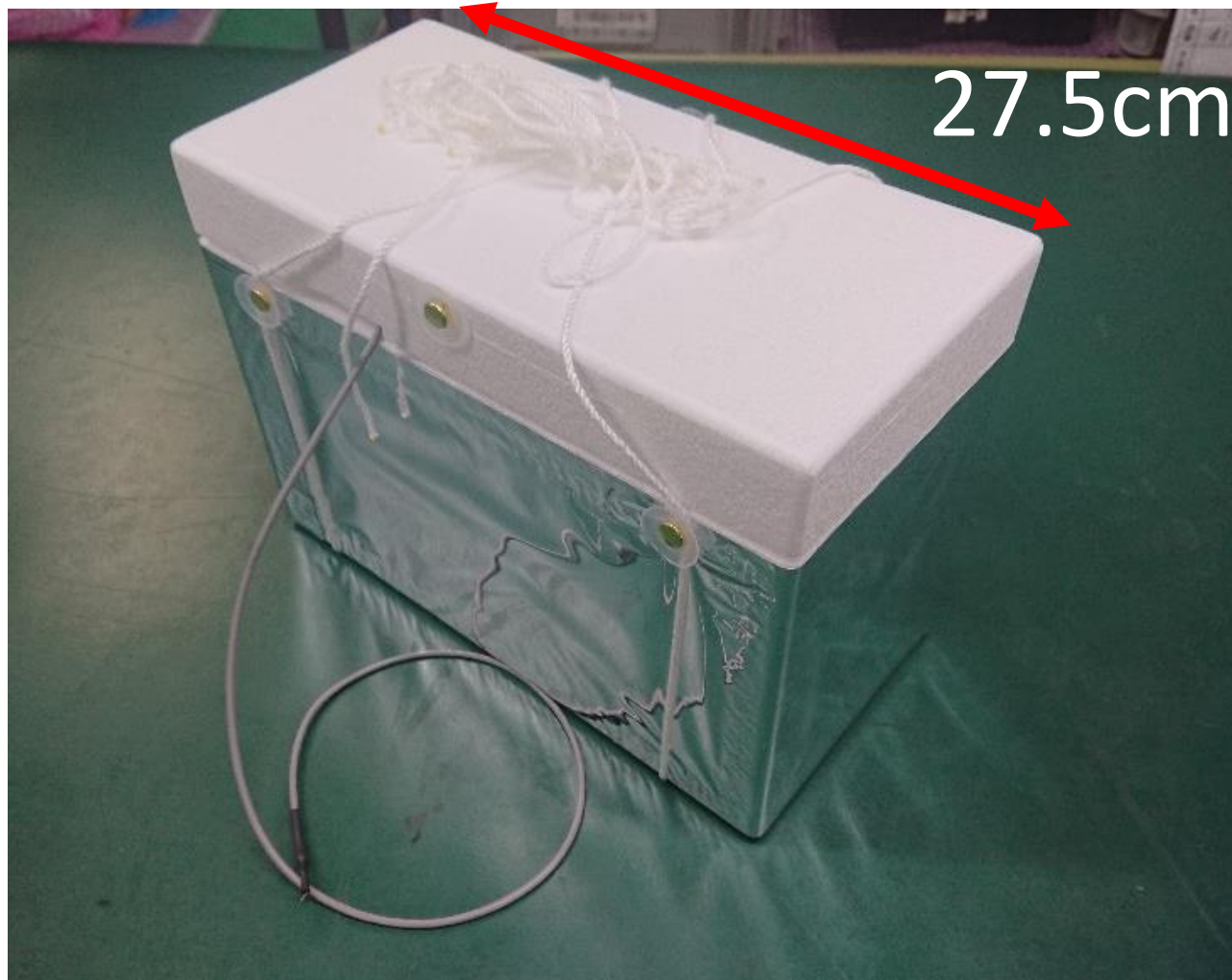
イリジウム衛星のShort Burst Data (SBD) 通信を利用

SBD通信は、端末との電子メール通信として、
下り340 byte/パケット、上り270 byte/パケット



<https://biz.kddi.com/service/iridium/sbd/>

搭載装置試作機



斎藤他、南極域での大気重力波観測実験 (LODEWAVE : LOnG-Duration balloon Experiment of gravity WAVE over Antarctica) ~ イリジウム衛星によるスーパープレッシャー気球からのデータ伝送 ~ 2021年7月SAT研究会

2022年1～2月 南極昭和基地から放球

日本初のスーパープレッシャー気球を用いた観測



<https://nipr-blog.nipr.ac.jp/jare/20220207post-216.html>

イリジウムショートバースト通信で 送付されるメールの例

MOMSN: 2216

MTMSN: 0

Time of Session (UTC): Thu Jan 6 16:26:23 2022

Session Status: 00 - Transfer OK

Message Size (bytes): 273

Unit Location: Lat = -69.44596 Long = 40.15844

CEPradius = 3

Content-Disposition:attachment;

filename="300534060013770_002216.sbd"

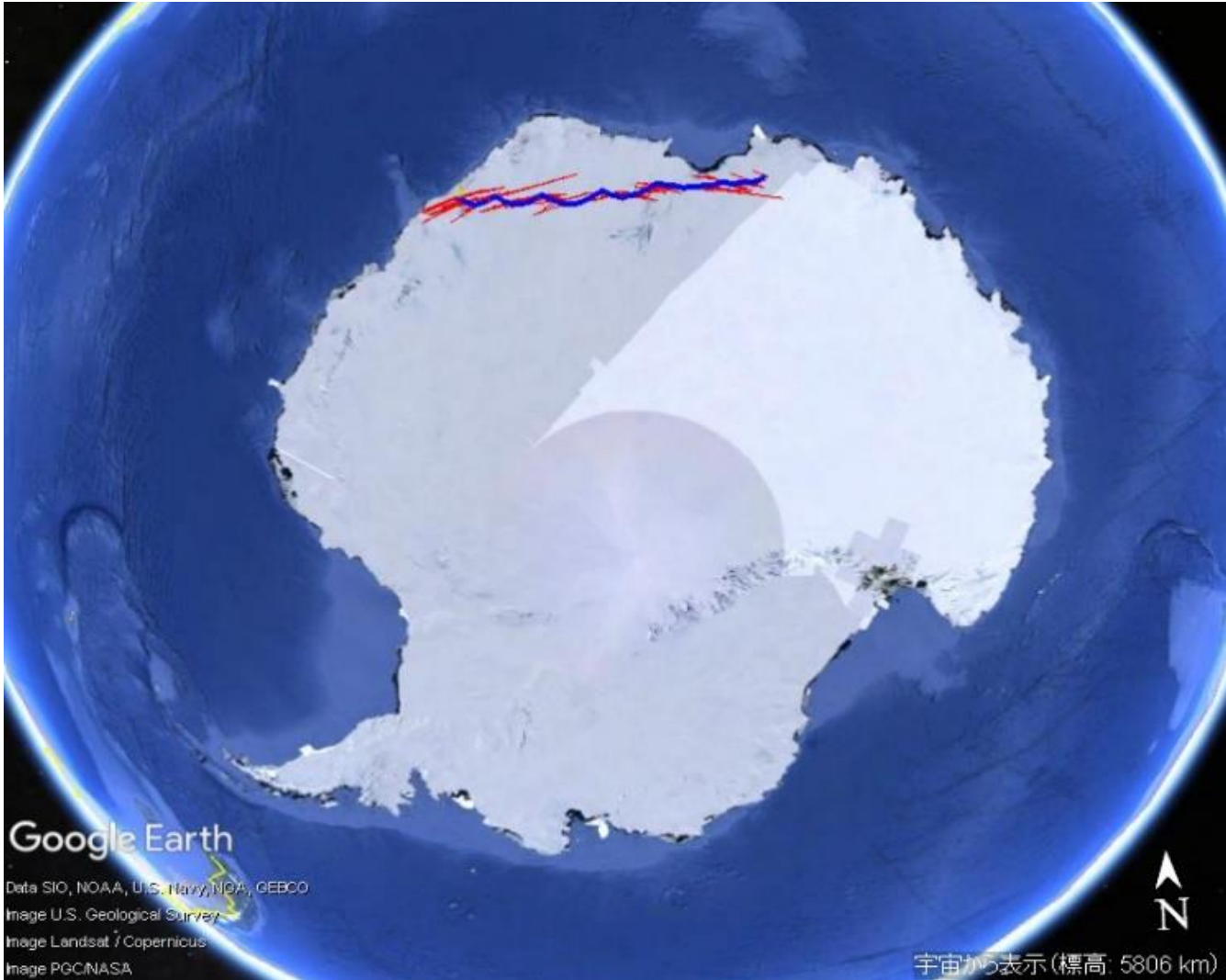
MOMSN: Mobile Originated Message Sequence Number,

MTMSN: Mobile Terminated Message Sequence Number

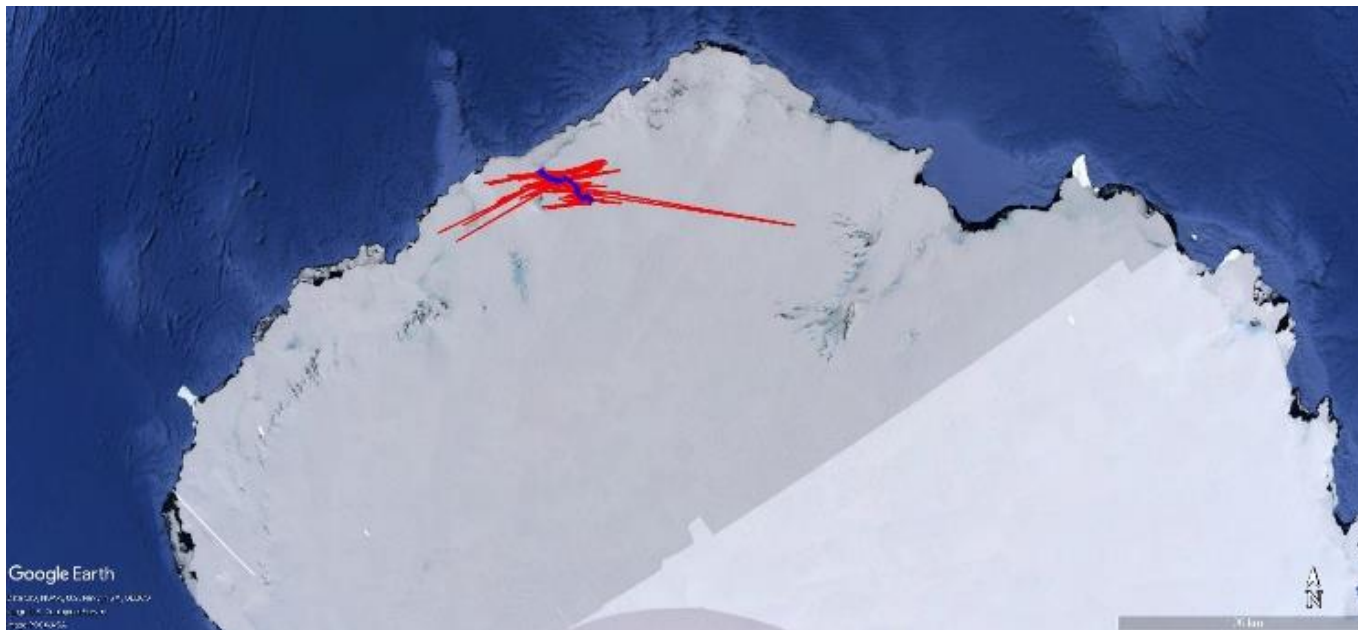
CEPradius: 平均誤差半径 (km)

1機目 飛翔の軌跡

赤：イリジウム測位、青：GPS+QZSS



スーパープレッシャー気球 2、3機目



2機目の軌跡

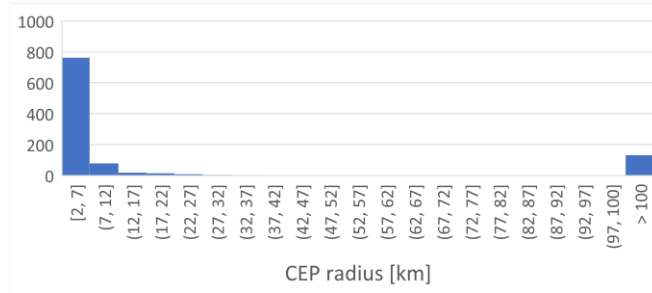


3機目の軌跡

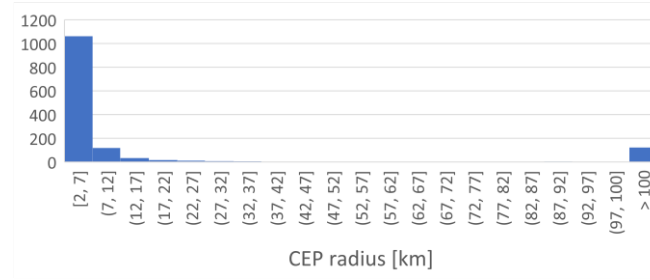
実験結果サマリ

	SPB No.	Data数 (Iridium)	Iridium 平均位置 誤差[km] CEP <100	平均速度 [km/h]	平均高度 [km]
南極上空	1st	1297	20	26	18.2
	2nd	1409	16	11	18.6
	3rd	2087	19	7.9	16.8
南極 昭和基地	All	6015	5.9	0	0.02
群馬県	All	5136	5.0	0	0.06

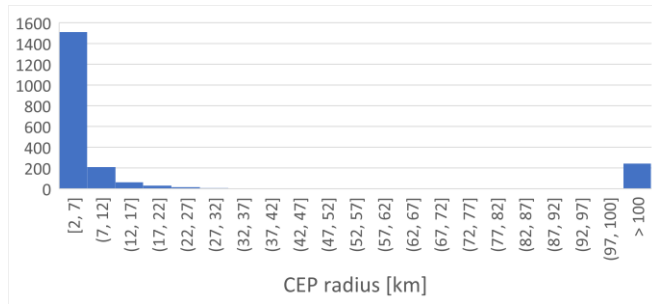
CEP radiusの頻度分布(測定値)



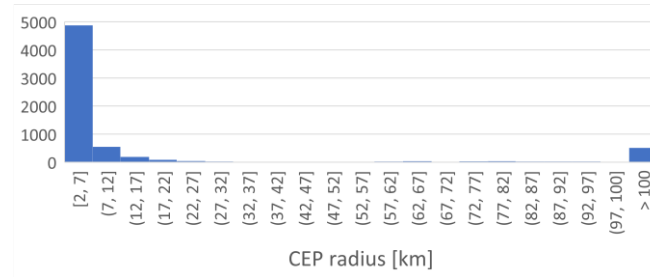
南極上空 1機目



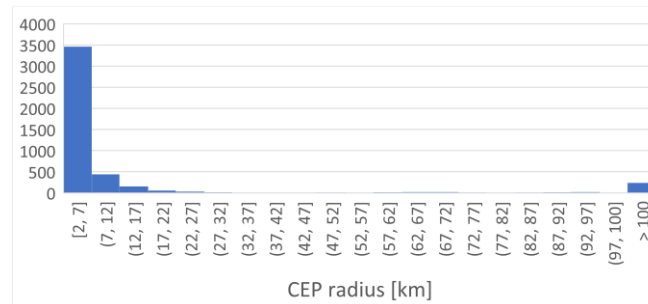
南極上空 2機目



南極上空 3機目



南極 昭和基地



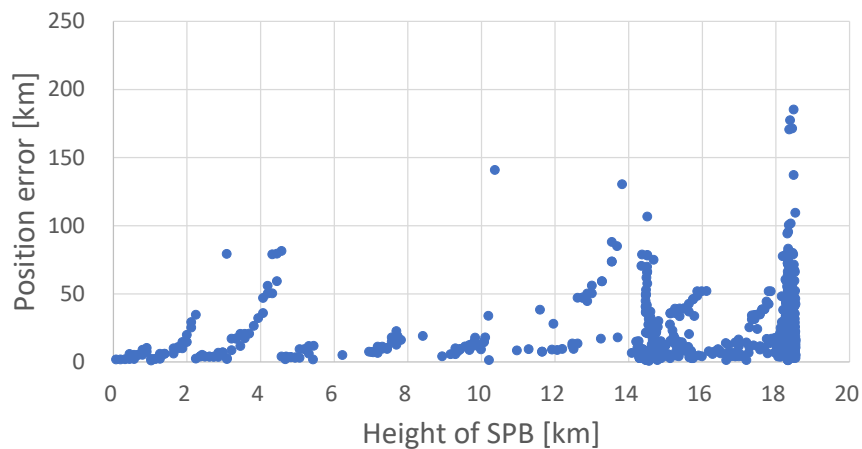
日本群馬県

CEP radius分布のまとめ

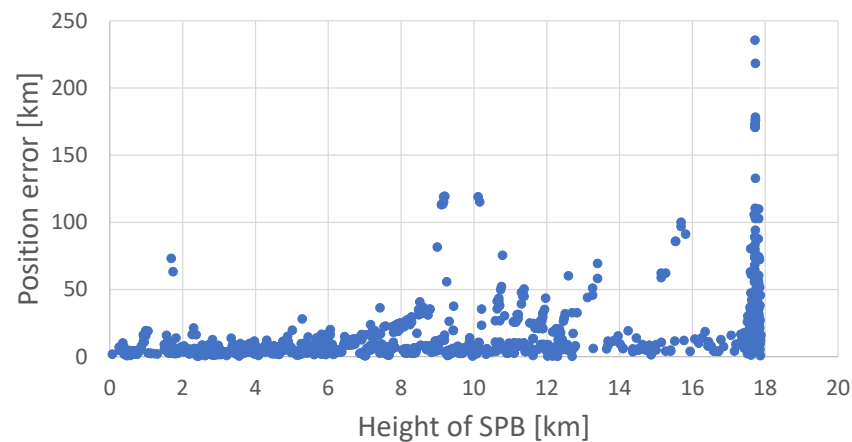
南極エリアは日本群馬県に比べるとCEP radius 100以上の割合が多い

	SPB No.	Data数 (Iridium)	CEP <7	CEP >100
南極上空	1st	1297	59%	10.2%
	2nd	1409	75%	8.7%
	3rd	2087	72%	11.6%
昭和基地	All	6015	81%	8.4%
群馬県	All	5136	76%	5.2%

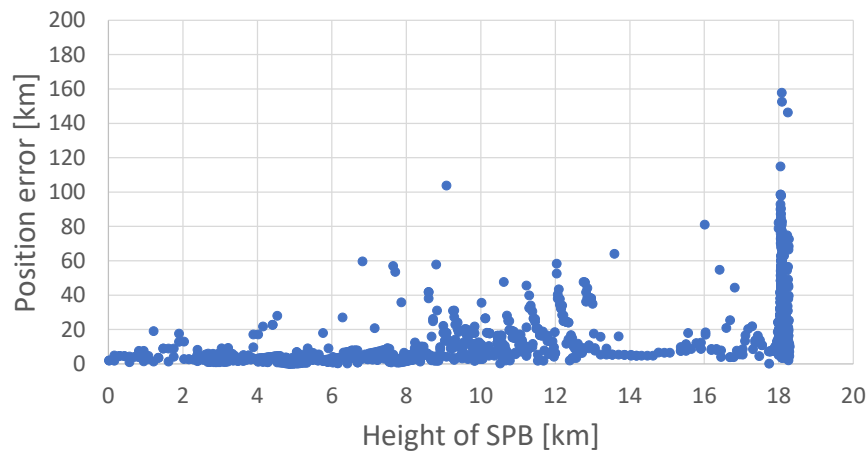
位置誤差 V.S. 気球高度



1機目



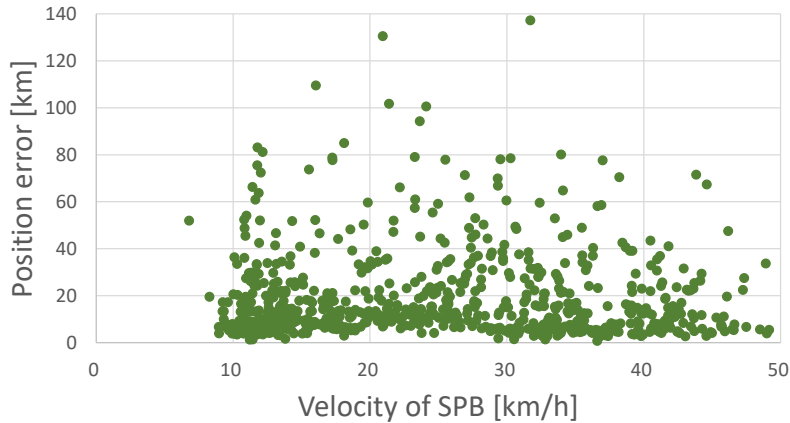
2機目



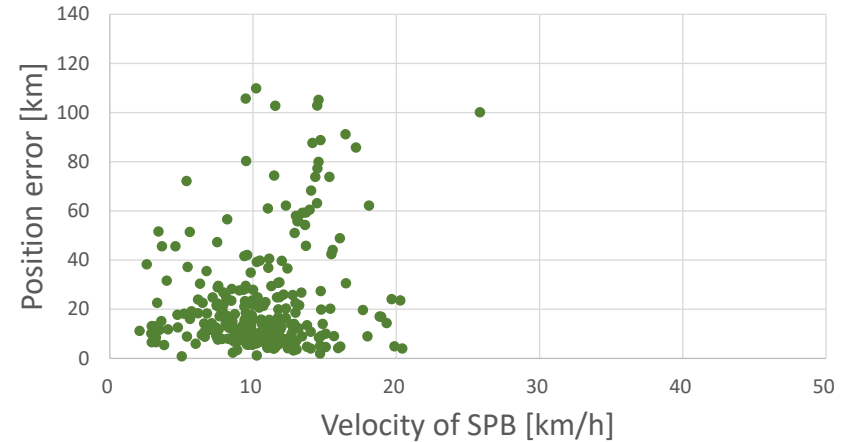
3機目

位置誤差 v.s. 気球速度

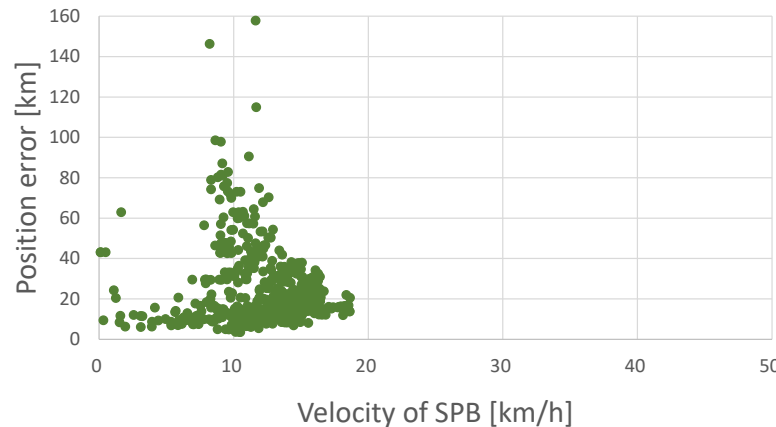
- 有意な相関は見られない



1機目

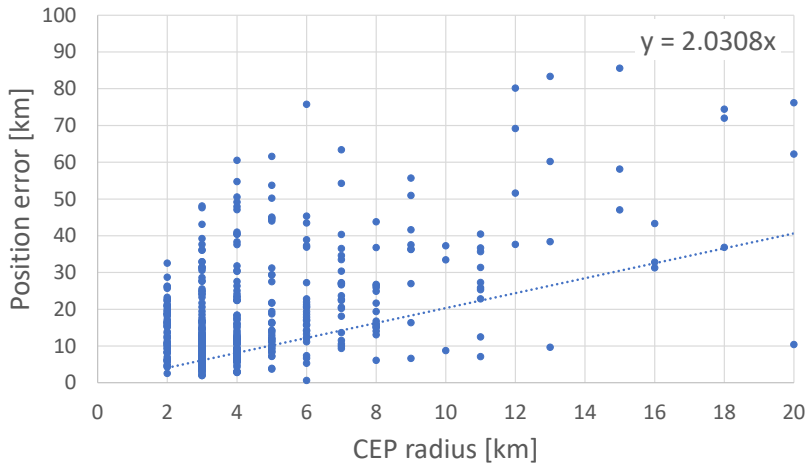


2機目

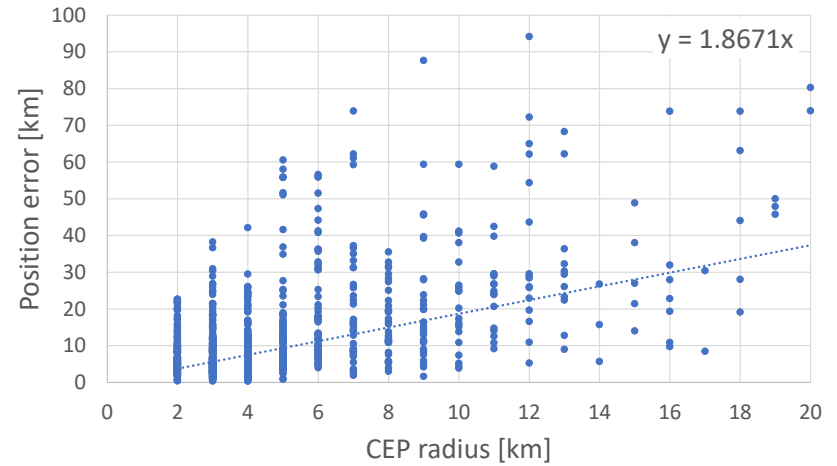


3機目

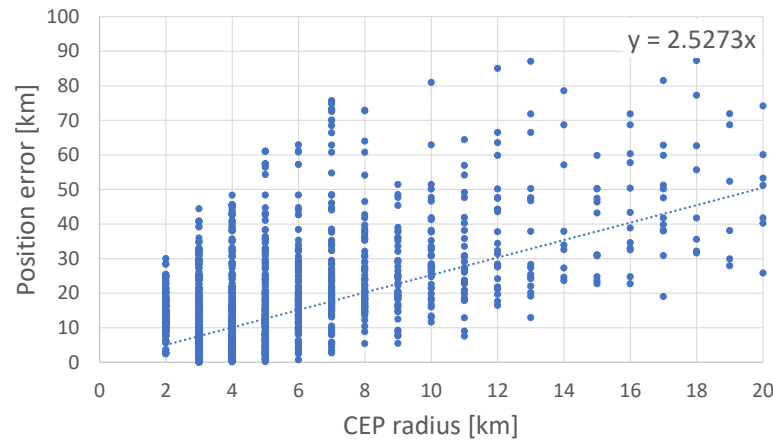
位置誤差 v.s. CEP radius



1機目

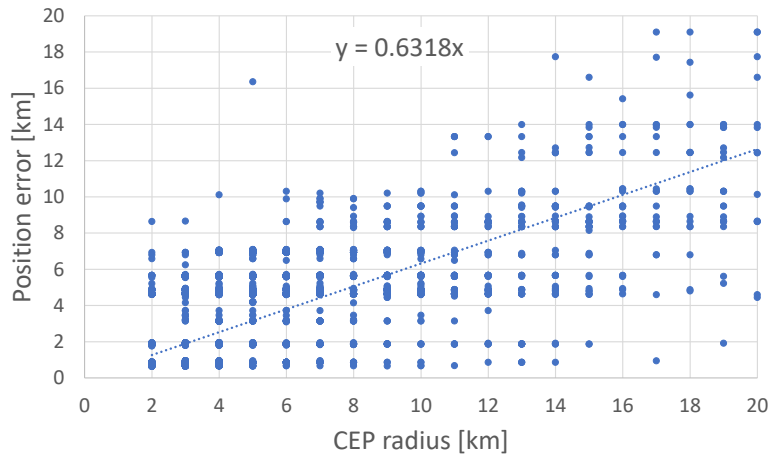


2機目

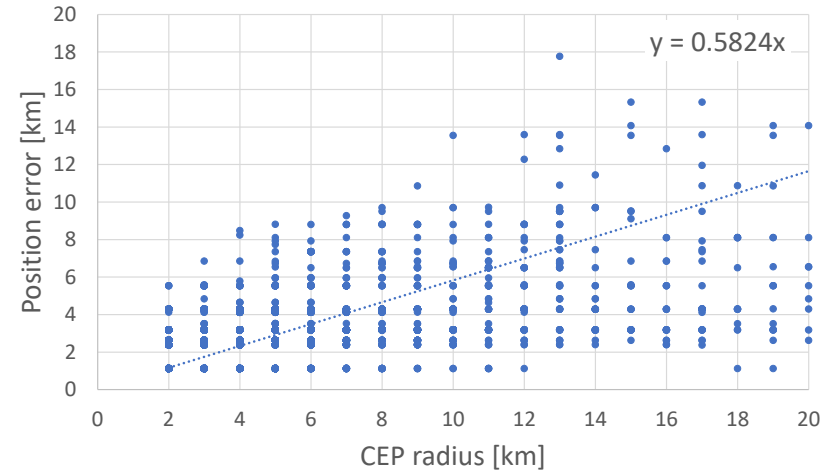


3機目

位置誤差 v.s. CEP radius



南極昭和基地



日本群馬県

相関係数まとめ

位置誤差は、気球の高度とイリジウム提供の推定誤差半径CEP radiusに対しては正の相関があると考えられる。気球の移動速度に対しては有意な相関は見られない。

	データ1	データ2	相関係数	検定p値
SPB 1st	位置誤差	高度	0.06	0.028
SPB 2nd	位置誤差	高度	0.35	3.7E-25
SPB 3rd	位置誤差	高度	0.31	0
SPB 1st	位置誤差	移動速度	0.003	0.93
SPB 2nd	位置誤差	移動速度	0.275	1.2E-12
SPB 3rd	位置誤差	移動速度	-0.115	0.006
SPB 1st	位置誤差	CEP radius	0.73	0
SPB 2nd	位置誤差	CEP radius	0.67	0
SPB 3rd	位置誤差	CEP radius	0.45	0
昭和基地	位置誤差	CEP radius	0.50	0
群馬県	位置誤差	CEP radius	0.56	0

通信エラー率(測定結果)

SPB	Fail linkの回数	エラー率
1機目	26回 (515回中)	5%
2機目	8回 (269回中)	3%
3機目	3回 (194回中)	1.5%

1機目：飛翔時間は約2.8日間。



湘南工科大学 屋上での実験



南極実験予備機の
通信エラー率
イリジウム測位誤差
などを調べている

988回中9回エラー

エラー率 0.91%

位置誤差 4.4km

予備機、イリジウム端末内蔵

まとめ

- スーパープレッシャー気球を南極の昭和基地より飛翔させ、センサデータをイリジウム衛星ショートバースト通信によって取得し大気重力波観測を行うLODEWAVE実験を実施した。
- イリジウム衛星測位による位置情報の誤差の分析について報告した。
- 南極上空3機の気球のイリジウム衛星測位による位置誤差は16～20kmであり、地上での固定測定時の誤差4.4～6kmと比べて大きかった。
- 位置誤差は、気球の高度とイリジウム提供の推定誤差半径CEP radius に対しては正の相関があった。
- 一方、気球の移動速度に対しては有意な相関は見られなかった。
- 気球からイリジウム衛星への送信時の通信エラー率は1.5～5%。
湘南工科大学屋上での予備機の通信では0.9%だった。
- オーストラリア上空約40kmの高度の気球データについても解析中。

謝辞

**南極昭和基地での実験にご協力頂きました
第63次南極地域観測隊(JARE63)のメンバー
に深く感謝致します。**

**この研究は情報・システム研究機構の
ROIS-DS-JOINT(No. 004RP2022)の
支援を受けています。**