

汐路丸のGPS障害に関する研究

東京海洋大学

菊地 錬



汐路丸について

主要目

竣工	S62.2.10
船質	鋼
航行区域	近海
全長	49.93m
垂線間長	46.00m
型幅	10.00m
型深	3.80m
喫水	3.00m
総トン数	425トン
最大搭載人員	62名



- 東京海洋大学が保有する練習船
- 学生・教職員が実験・実習に利用
ex) 潮流計測, 自動制御, ...etc

(<http://www.e.kaiyodai.ac.jp/facilities/shioji/>)

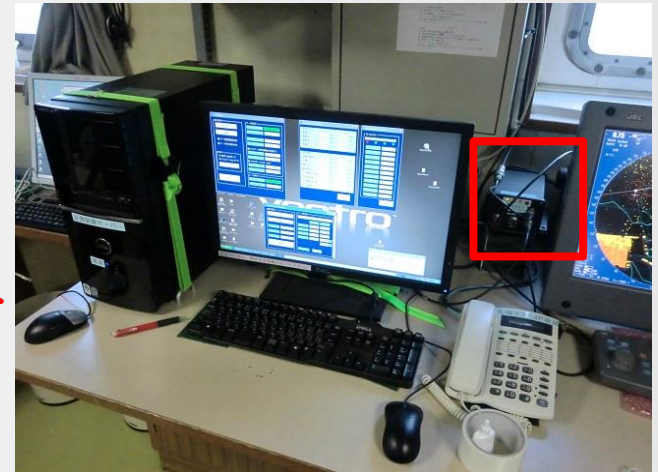
背景と目的

汐路丸でGPS障害が多発

航海機器への影響

実習・実験への影響

原因を究明するために調査開始



GPS/GNSSは妨害波の影響を受けやすい

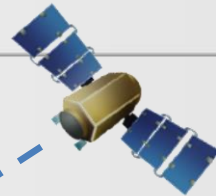
- 信号の受信電力がとても小さい



30W

高度20,000km

$10^{-16}W$



GPS/GNSSの無線スペクトルに妨害波が入り込むと
受信機は信号を適切に処理できない

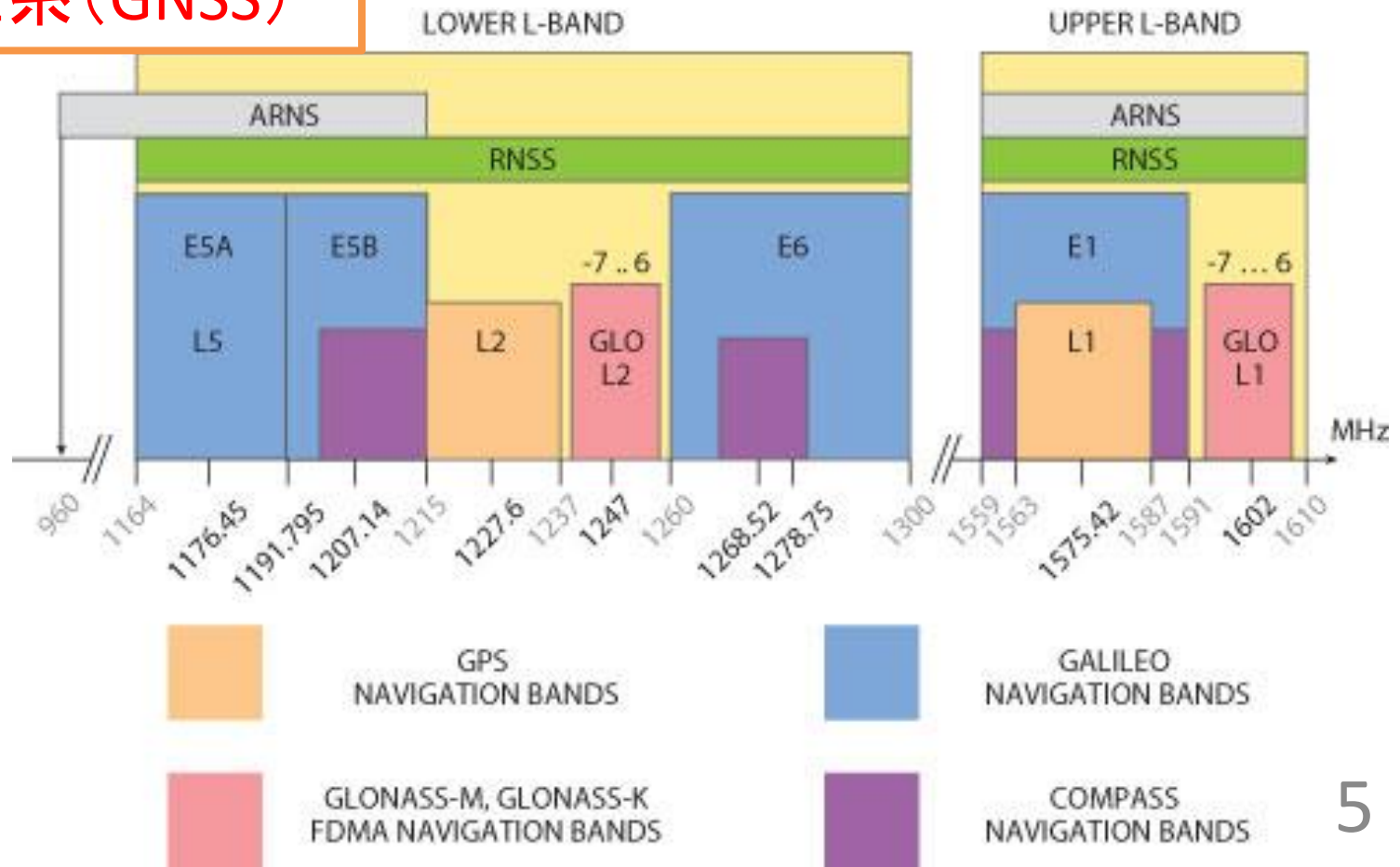
GPSの他にも、

- GLONASS (露)
- Galileo (EU)
- BeiDou (中)
- QZSS (日)

衛星測位系 (GNSS)

それぞれが2周波、3周波で信号を送信

障害を受けたとしても
他システム、L2帯やL5帯が使える可能性

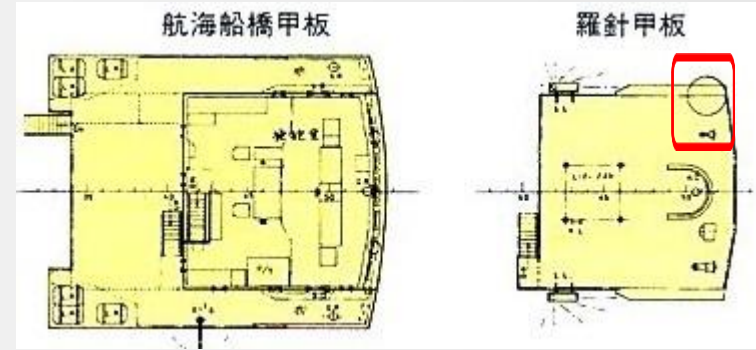
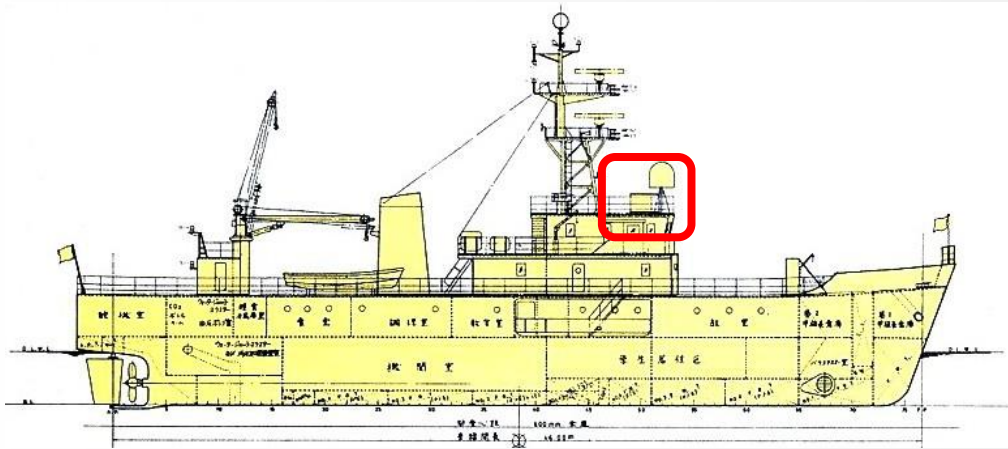


汐路丸の調査

過去の実験航海のデータ解析

	7月	10月
期間	7/26 7:00 ~ 8/1 14:00	10/15 12:00 ~ 10/18 17:00
受信機	Trimble NetR9	Trimble NetR9, Javad DELTA
アンテナ	Trimble Zephyr ジオデティック2	Trimble Zephyr ジオデティック2
航行海域	勝どき(スラスタ故障により)	勝どき ~ 館山
取得間隔	1Hz	1Hz

汐路丸の調査 - アンテナ設置位置



調査結果 その1

JST	7/30	10/15	10/16	10/17	
9:00	X	1	O	O	5
10:00	X		O	X	
11:00	O		O	O	
12:00	O	O	O	O	
13:00	O	O	O	O	3
14:00	O	O	X	O	2
15:00	O	X	X	O	4
16:00	O	X	O	O	
17:00	O	O	O	O	

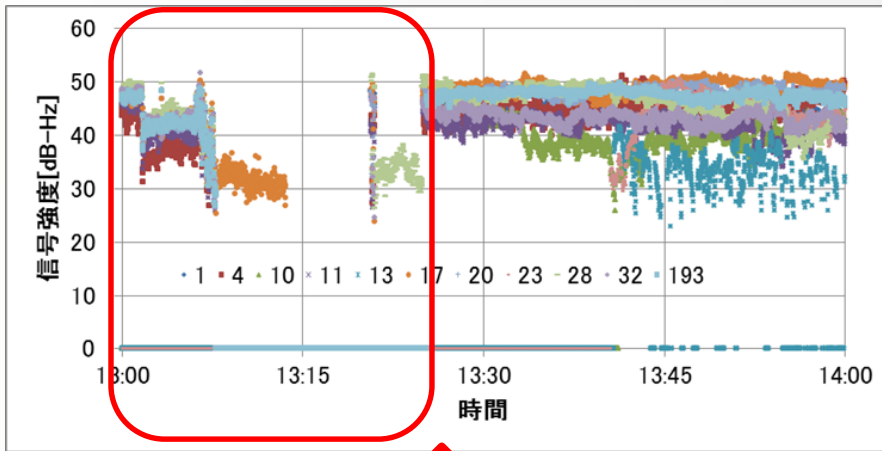
番号	時間	場所
1	1h30min	勝どき
2	1h	勝どき
3	25min	勝どき
4	3min	勝どき
5	5min	館山湾

- 障害が発生する時間帯は午前中から夕方に集中
- 障害の発生時間は長かったり、短かったり
- 障害が起きる海域はばらばら

調査結果 その2

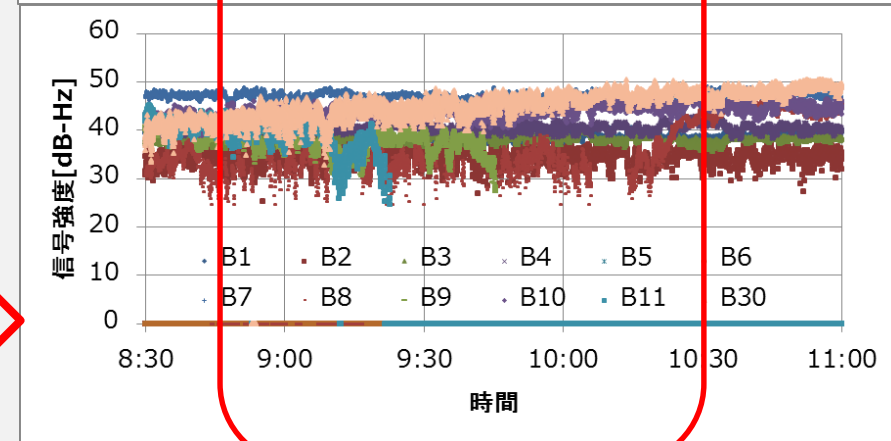
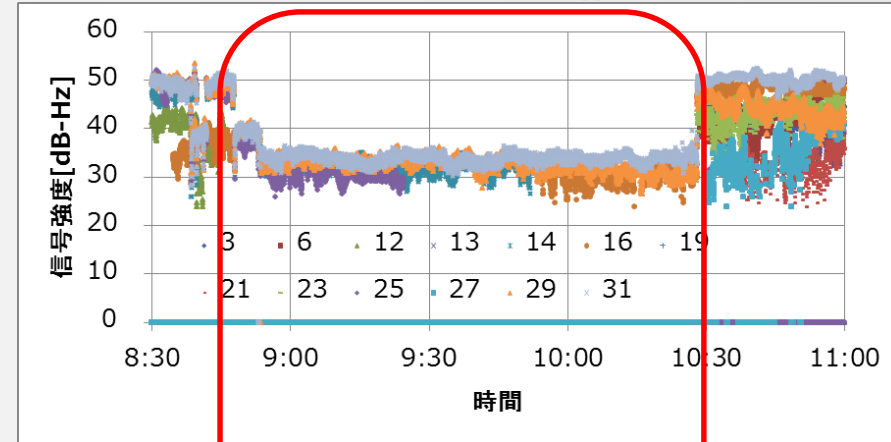
○信号が受信できなくなる
(3番)

GPSL1信号



○信号強度が数十[dB-Hz]落ちる
(1番, 2番, 4番, 5番)

上図: GPSL1信号

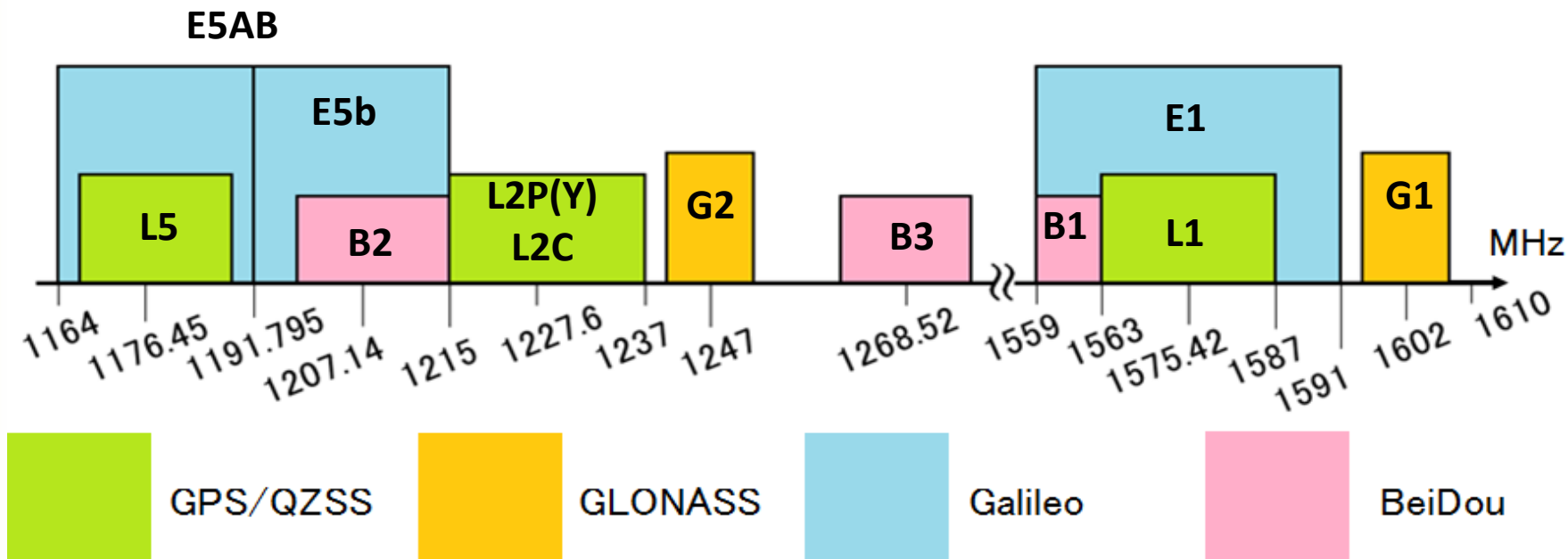


全GNSSの信号が受信不能に

影響を受けないGNSSの信号も

下図: BeiDouB1信号 9

調査結果 その3



	1番	2番	4番	5番
GPS	L1, L2P(Y)	L1, L2P(Y)	L1, L2P(Y)	L1, L2P(Y)
GLONASS	G1	G1	G1	G1, G2
Galileo	E1, E5b, E5AB	E1		E1
BeiDou				
QZS	L1	L1	L1	L1

調査結果 まとめ

障害の、

- ・発生する時間帯（夜には発生しない）
 - ・持続時間
 - ・発生海域
 - ・影響を受けるGNSSの種類，周波数帯
- に規則性が見られない問題が浮上

妨害源を予想することが難しい

汐路丸の設備調査

コンパスデッキにアンテナ・受信機を設置



船内設備の電源を順番に投入



GNSSに障害が出たら電源を落としてみる



GNSSに障害がなくなれば妨害源特定

船内設備調査

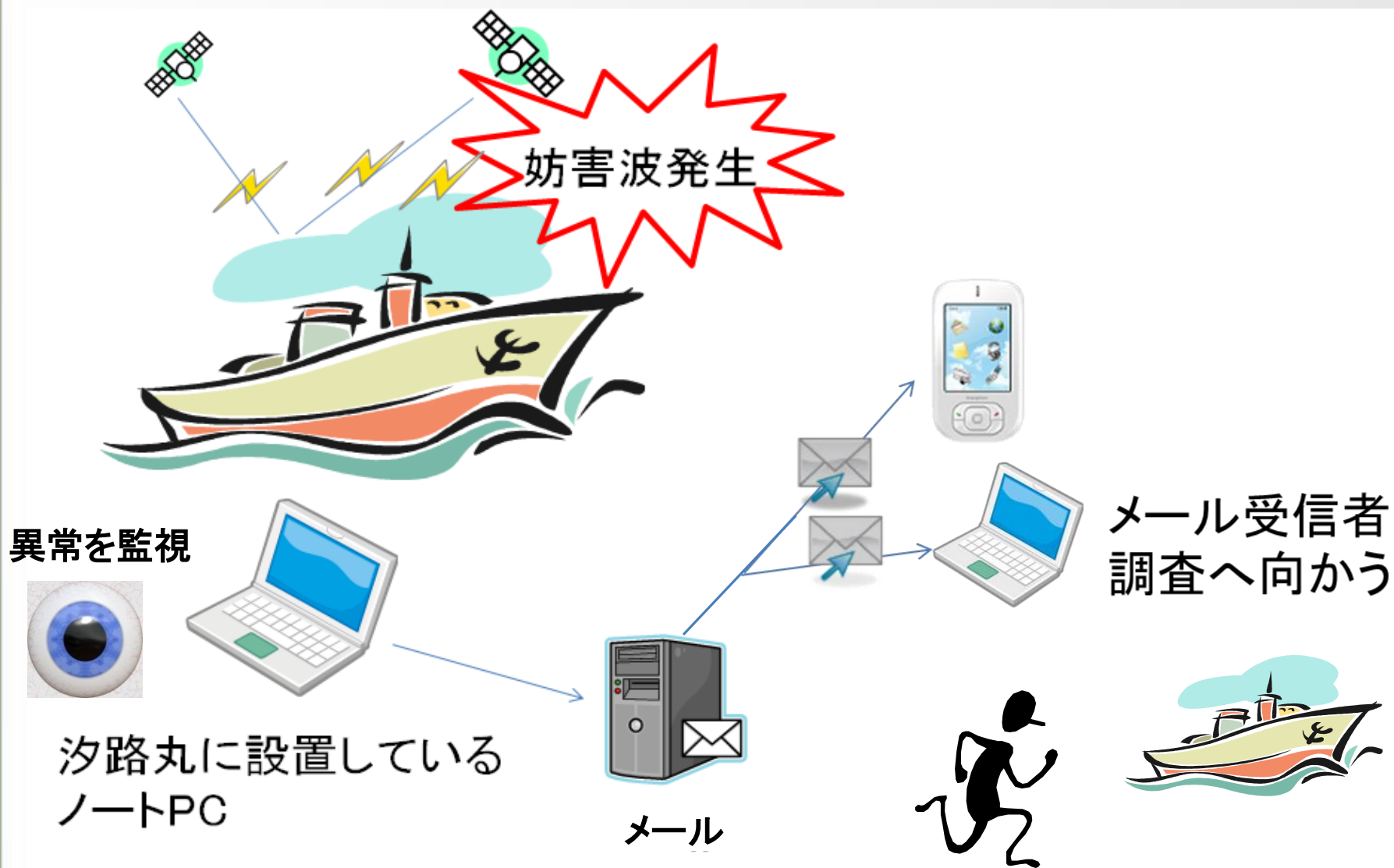
JST	機器	動作	影響
10:19	海洋ブロードバンド	OFF	なし
10:28	WEBカメラ	OFF	なし
10:30	海洋ブロードバンド	ON	なし
10:45	WEBカメラ	ON	なし
10:50	サテライトコンパス	OFF	なし
10:55	サテライトコンパス	ON	なし
10:57	AIS	OFF	なし
11:00	AIS	ON	なし
11:01	VHF	OFF	なし
11:05	VHF	ON	なし



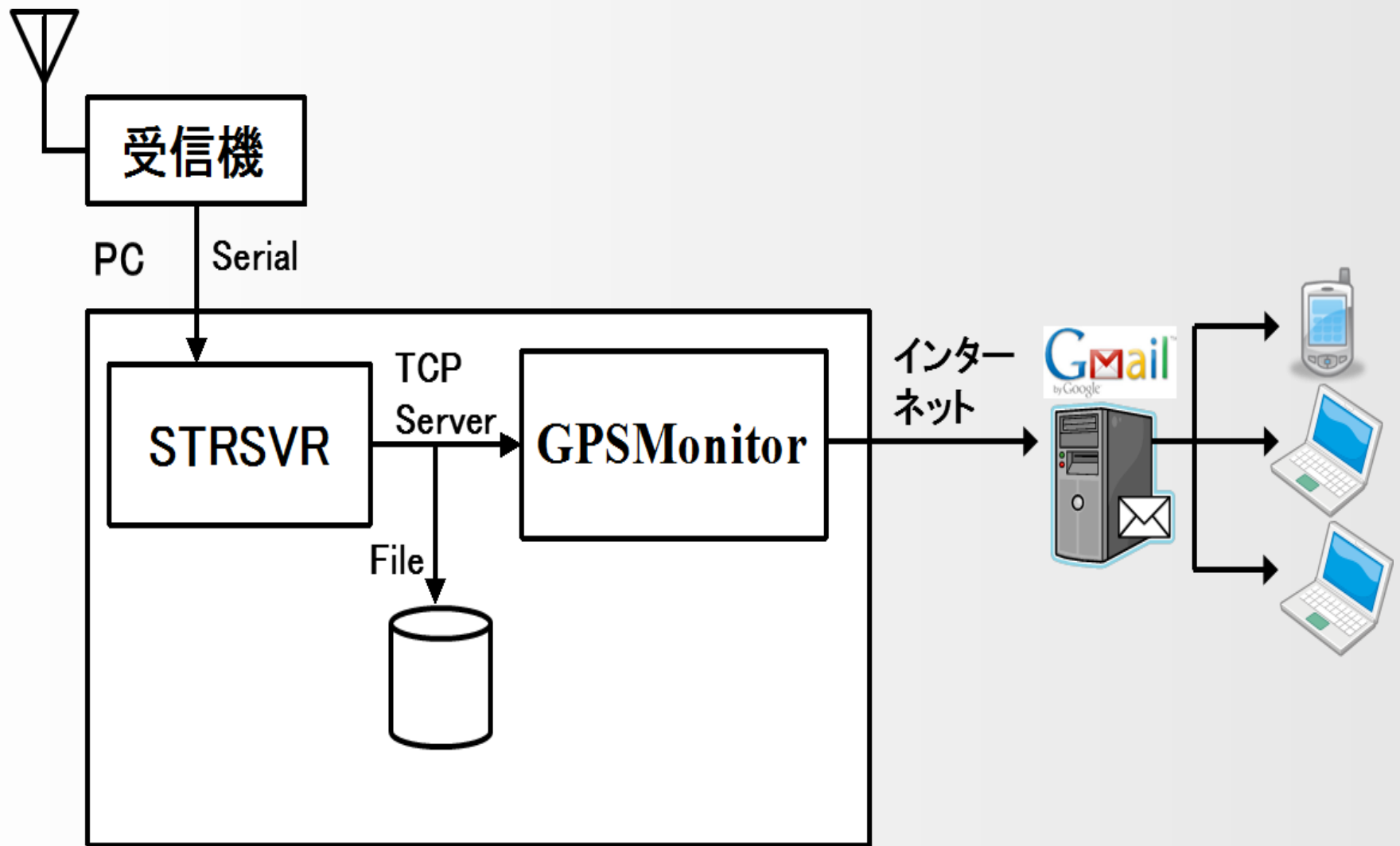
受信機	アンテナ
Trimble_NetR9	Zephyr
Ublox_5T	Tallysman
Furuno	Ublox
NovAtel_OEM6	703-GGG

異常発生時に調査する必要がある

GPS異常検知システム



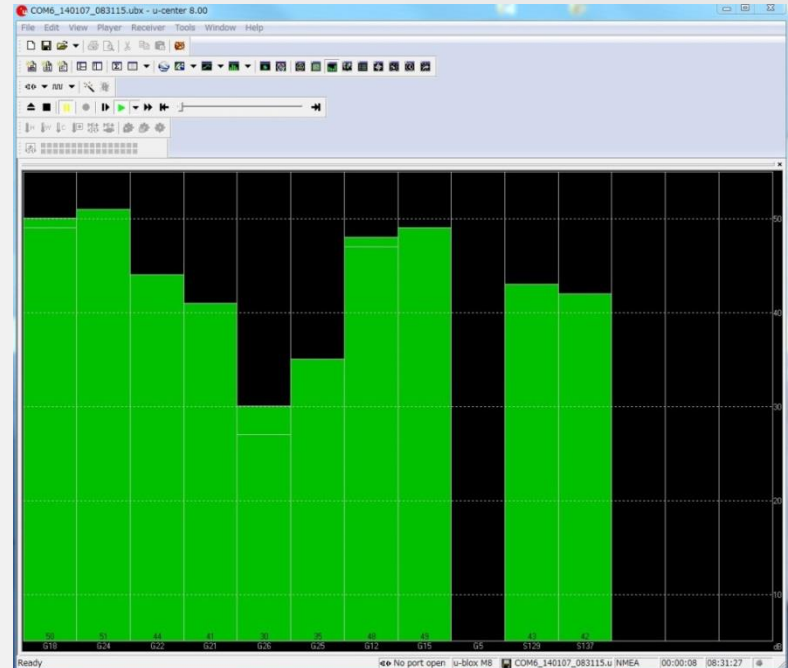
システムの構成



異常の検知

信号強度の監視

NMEA GPGSVセンテンス
衛星の信号強度が35[dB-Hz]以下
→メール送信



\$GPGSV

← 最大4回繰り返される →

ヘッダ	全メッセージ数	メッセージ番号	受信可能衛星数	衛星番号	仰角	方位角	信号強度	チェックサム
-----	---------	---------	---------	------	----	-----	------	--------

デモ動画



調査手法の検討

本システムは汐路丸に常設する予定

小型のスペクトラムアナライザを購入



メールを受信した後、汐路丸に向かう

スペクトルアナライザを使用し船内巡回

妨害源の近くほど伝搬損失が少ないので強力
その周辺の設備を妨害源と予測

電源を落とす

GPSの信号強度が回復すれば妨害源の特定

まとめと今後の課題

汐路丸のGPS障害について調査を行った。

- ・障害はGPS L1信号のみではなく、他GNSS・他周波数帯の信号にまで被害が及んでいた。
- ・障害が発生する海域、障害が発生する時間帯・持続時間に規則性がないことを確認した。

GPS異常を自動検知し、通知をするシステムを導入した。

今後の課題

GPS異常の原因はわからないままなので、原因追究に向けて引き続き調査を行う。

ご清聴ありがとうございました



- ・L2P(Y)が落ちてL2C信号には異常がおきない理由
L1信号にはP(Y)コードも乗っている。
L1信号が落ちたらL2P(Y)信号も落ちてしまう ← 民間の受信機

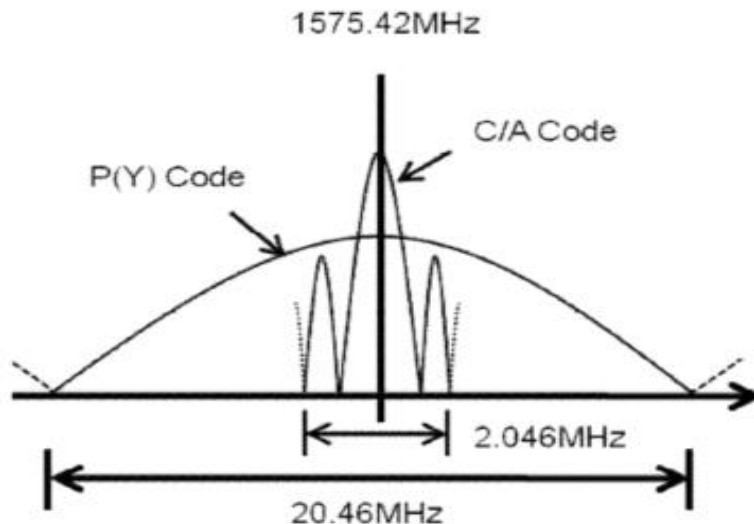
$$S_{L1}(t) = \sqrt{2P_C}D(t)x(t) \cos(2\pi f_{L1}t + \theta_{L1}) + \sqrt{2P_{Y1}}D(t)y(t) \sin(2\pi f_{L1}t + \theta_{L1})$$

$\sqrt{2P_C}, \sqrt{2P_{Y1}}, \sqrt{2P_{Y2}}$: 振幅

$D(t)$: 航法データ

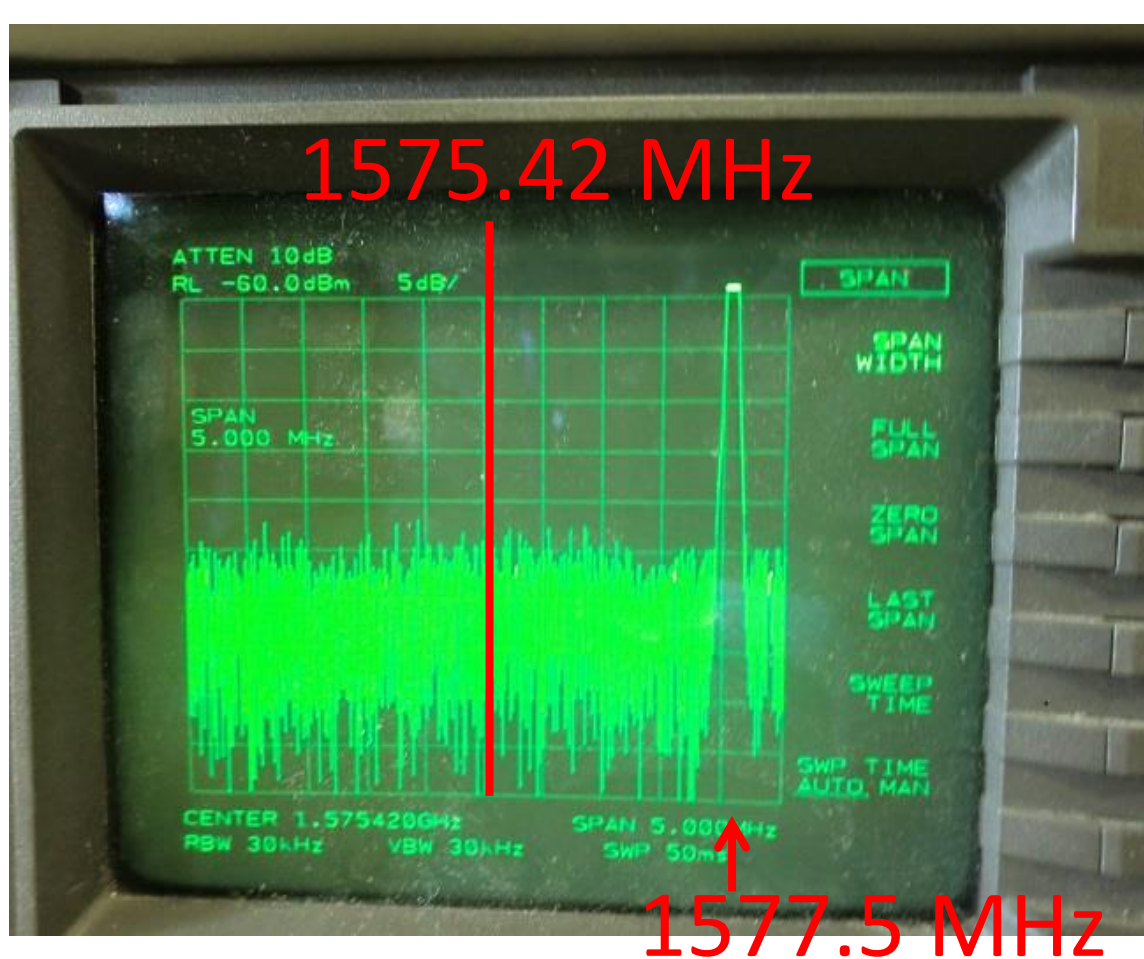
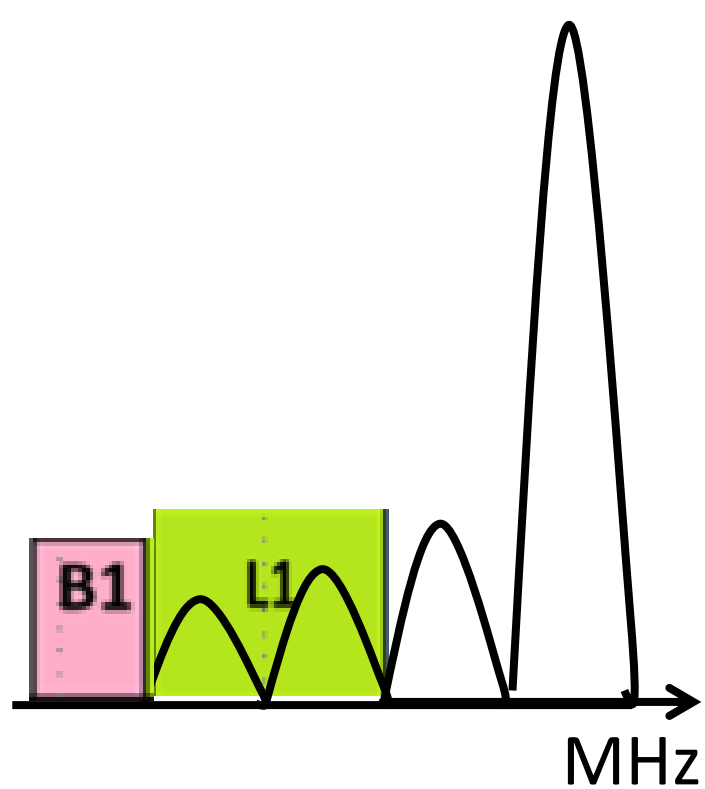
$x(t), y(t)$: スペクトル拡散コード

f_{L1} : 搬送波周波数



L2P(Y)信号は軍用の信号

昔にPコードが流出し、受信できる
L1信号経由で受信している



REF : -60dBm

CENTER : 1575.42MHz

SPAN : 5MHz

既存の受信機では妨害に対する耐性はない

→ 妨害源を特定する必要がある

軍用のものは妨害を前提とした設計

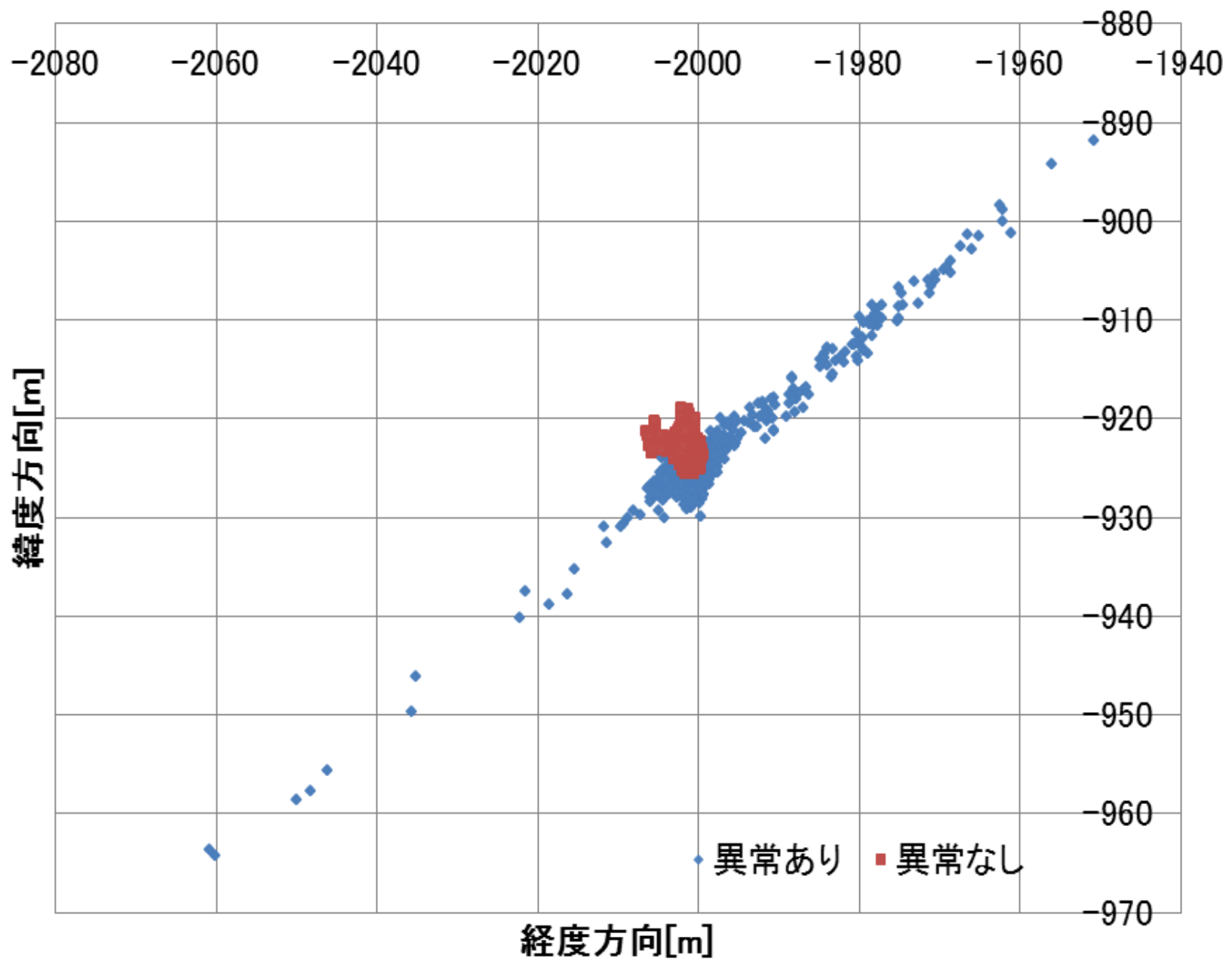
→ アンテナ

複数のアンテナ素子

信号の位相や利得を調整

妨害源に利得がない方向を作る





- 意図的→GPSジャマー
- 偶発的→インマルサット

（上：1625-1646.5 MHz
下：1524-1545.5 MHz）



使用周波数帯が違っても電波が漏れ出て隣接周波数帯に影響

- ・テレビ
- ・携帯電話基地局電波
- ・WEBカメラ
- ・海洋ブロードバンド → Kuバンド（上：14GHz、下：15GHz）

