

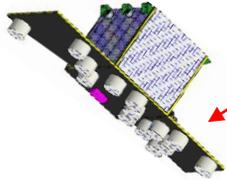
# SAMRAIが切り拓く未来社会 ~デジタル海洋立国に不可欠な海の見える化~

**2022年12月14日**

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構  
第一宇宙技術部門 SAMRAIプリプロジェクトチーム  
村木 祐介、前田 崇

# SAMRAI (超広帯域電波デジタル干渉計)

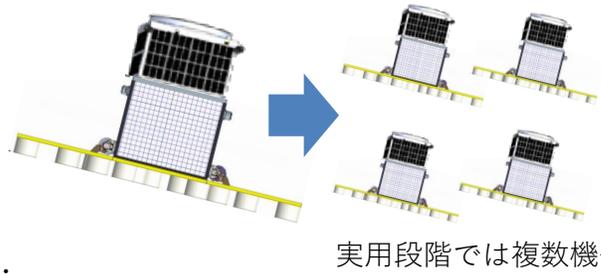
空間分解能	7 km @ 10 GHz, 2 km @ 35 GHz
走査幅	1000 km @高度500km
サンプリング速度	27.648 GSPS
観測周波数	27 MHz間隔で連続的に 1 ~ 40 GHz
素子数	14個の素子でPAAを構成
最大素子間距離	2.3 m



フェーズドアレイアンテナ(PAA):  
電気的な信号遅延で指向制御

小型で高性能なアンテナ等により、従来より格段に高い世界最高の解像度、頻度(3時間毎)で観測

## SAMRAI搭載衛星 (2026年に実証機を打上げ予定)



実用段階では複数機化

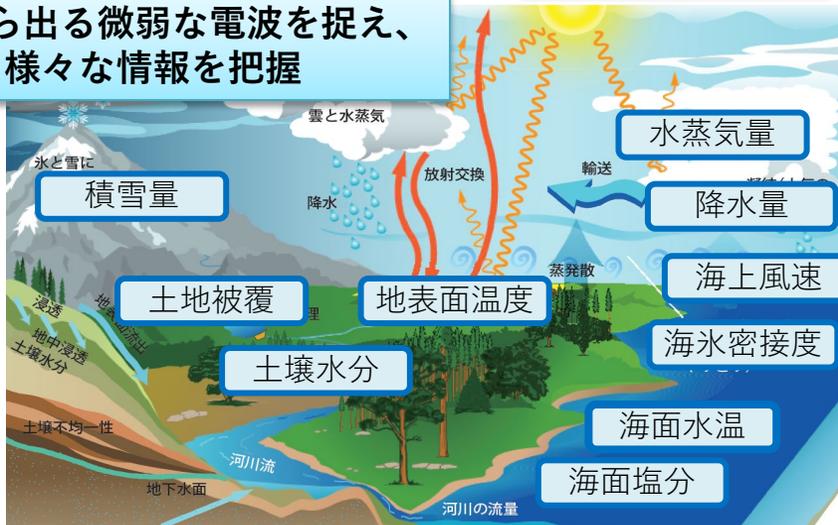
受信電波

識別・分離

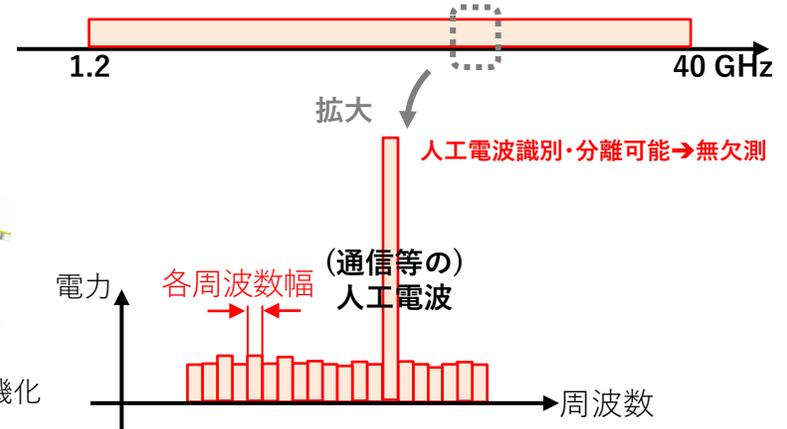
自然由来電波

人工電波

地球から出る微弱な電波を捉え、  
様々な情報を把握



様々な周波数の通信・レーダー送信元  
などの人工電波情報を把握



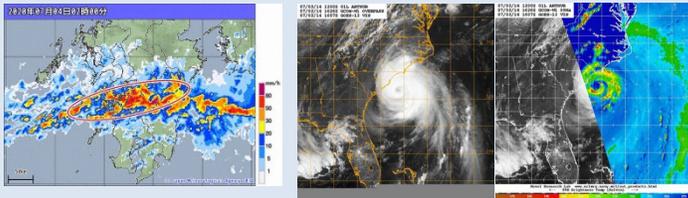
超高速AD変換・FFTで各周波数幅は小さく連続的。  
人工電波の識別・分離で無欠測を実現。



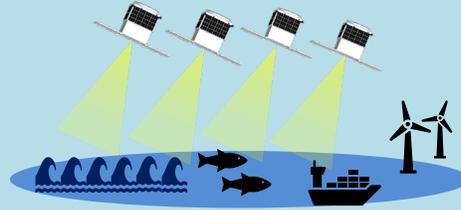
## 持続的かつ安心・安全な海洋デジタル未来社会を支えるSAMRAI衛星観測

### (1) 気象・防災

海上を雲の下含め高頻度・高解像度に観測し、「線状降水帯・台風の予測精度を向上」。



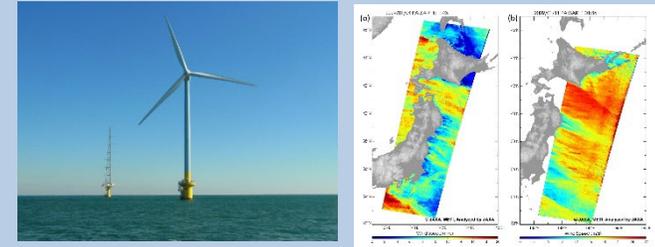
### SAMRAI衛星観測



- 海上の水温、風速、水蒸気量等を従来より格段に高い世界最高の解像度、頻度(3時間毎)で観測。
- 人工電波源の分布を把握でき、従来困難だった発信電波の周波数特性等の詳細把握が可能。

### (2) 洋上風力発電

海上風速の高頻度・高解像度観測により、「風況予測モデル開発の端緒を拓く」。



### (4) 管理漁業

- 高頻度・高解像度な海面水温により、漁場探索システムを沿岸部にも拡張。
- 同システムをインセンティブとして漁船から漁獲情報を取得し、「管理漁業の実現に貢献」。



### (3) 電波収集・船舶検知

広域に船舶の電波情報をマッピングし、AIS(船舶識別情報)衛星群の情報と組み合わせ、追跡すべき不審船を識別

➡低コストな電波収集衛星群で追跡する準リアルタイムの「船舶の見える化」を実現。



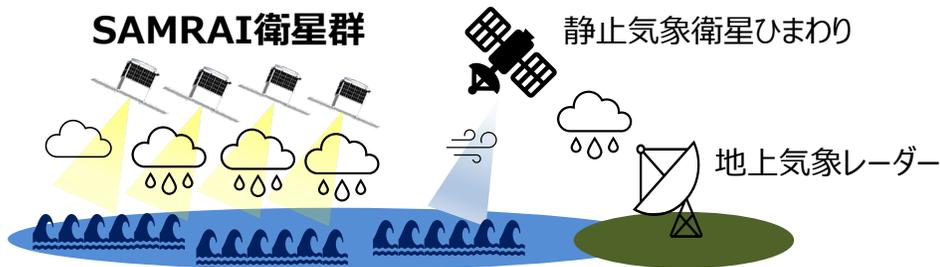
### (5) 船舶航行

- 高頻度・高解像度な海面水温、風速等により、流速場等の航路最適化のためのモデルを高精度化。
- SAMRAIで高度化した気象・海況予測や安全な海域情報により、「無人船舶航行に貢献」。



# (1) 気象・防災分野における社会実装・創出価値

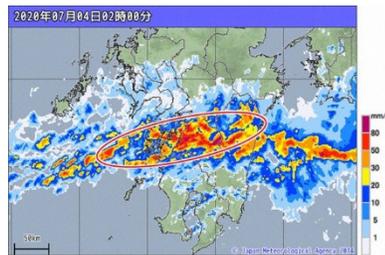
## 線状降水帯・台風を予測できる未来社会を支えるSAMRAI衛星観測



想定ユーザ：気象庁、気象ビジネス会社、海外気象機関  
海上で活動する船舶、洋上風力発電所など

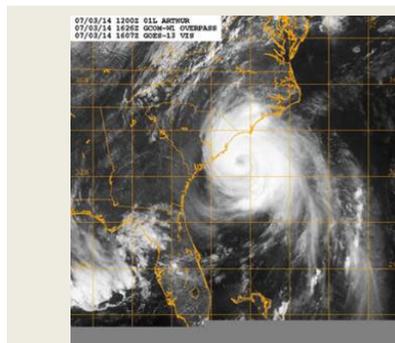
- 課題：線状降水帯や、台風の予測には海上の水蒸気量・風速・水温等の観測が不可欠。静止気象衛星「ひまわり」では、雲の下の情報を計測できず、地上の気象レーダーは水平線より先に届かず、海上観測が出来ない。既存のマイクロ波衛星では解像度や観測頻度が足りなく、現状観測データ不足。
- SAMRAIの小型で高性能なアンテナ等により、従来より格段に高い世界最高の解像度、頻度(3時間毎)で海上の水蒸気量(2km)・風速(2km)・水温等(7km)を、雲の下含め観測。
- これらのデータを気象庁のモデルにインプットすることで、線状降水帯・台風の予測精度を向上。

- また、SAMRAIデータにより、気象ビジネス会社が海洋上の局地的な気象・海象予報の精度を向上。
- 旅客船・貨物船、漁船、洋上風力発電所等に予報サービスを提供し、海上輸送・作業の効率化や安全性の確保に貢献。

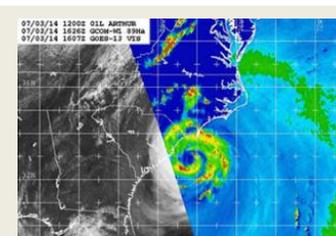


- 甚大な水害や土砂災害をもたらす「線状降水帯」(被害規模は年間3000億円程度)について、気象庁が令和4年の発生予報は13回中3回が的中し、11回中8回が見逃しと予測精度は低い。
- 線状降水帯の発生予測には、海洋からの水蒸気流入を捉えることが重要。

- 気象庁は、線状降水帯の予測のため、「ひまわり」の後継機(予算610億円)に、水蒸気等を立体観測できる赤外サウダを搭載予定だが、雲の下は観測できず、衛星マイクロ波観測への期待が高い。
- 米国気象機関NOAAは、民間気象衛星による気象データを数億円/年で調達。今後、商業気象衛星ビジネスが拡大していく見込み。



静止気象衛星ひまわり画像

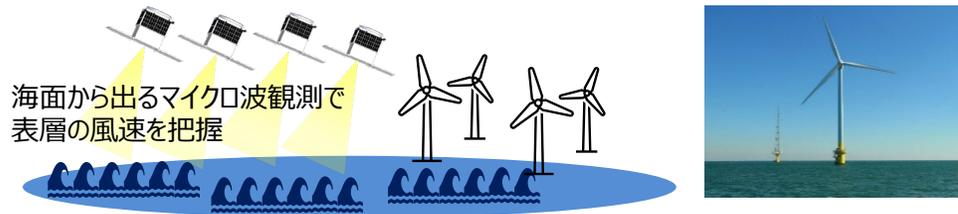


台風の内部構造がわかる  
台風直下の風速・海温がわかる

衛星マイクロ波観測画像

## 洋上風力発電量が予測できる未来社会を支えるSAMRAI衛星観測

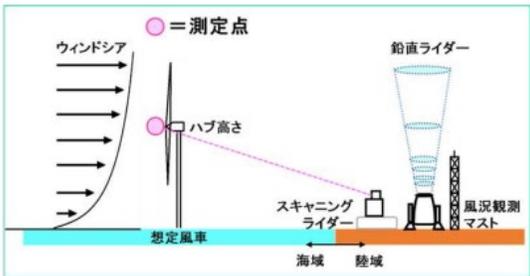
### SAMRAI衛星群



想定ユーザ：気象庁、気象ビジネス会社、NEDO、電力事業者など

- 課題：発電量予測に不可欠な「広域の」海上風速の実測が十分な解像度でできない。ライダー等はポイントの観測精度は優れるが、広域・面的な観測は不十分。
- SAMRAIの小型で高性能なアンテナ等により、現状頻度・解像度の不足した海上風速観測を従来の衛星観測より格段に高い世界最高の解像度(2km)、頻度(3時間毎)で実施。※精度は±1.0m/s
- SAMRAIによる面的・継続的な海上風速の高頻度・高解像度観測を、高精度でピンポイントな地上観測手段と組み合わせ、「風況予測モデル開発の端緒を拓く」。

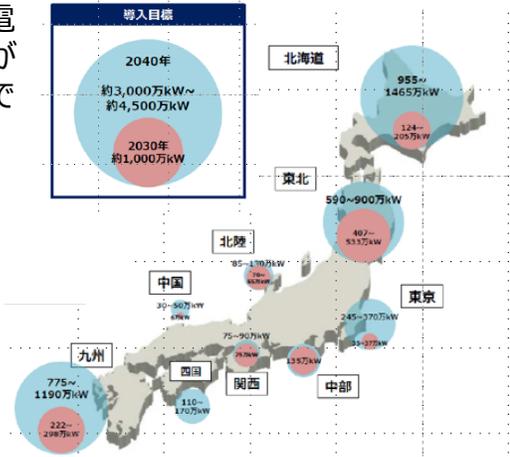
- 【事業計画検討】 風況観測ライダー設置前の事業計画検討において、気象庁モデルによるデータ(NEDO NeoWinds :10km)に加え、SAMRAIの細かな風況情報(2km)を補完的に活用。
- 【発電運用】 SAMRAIによる面的・継続的な海上風速の高頻度・高解像度観測やSAMRAIデータにより高精度化した気象情報を、高精度でピンポイントな地上観測手段と組み合わせ、数時間先の風況予測・発電量予測の実現を目指す。
- 【建築・保守】 SAMRAI観測により高精度化した、発電所周辺のピンポイントな気象・海況(波高など)の予測情報を活用し、建築や保守のための作業(SEP船やCTV等の小型船による作業)の稼働率を向上するとともに安全性を確保。



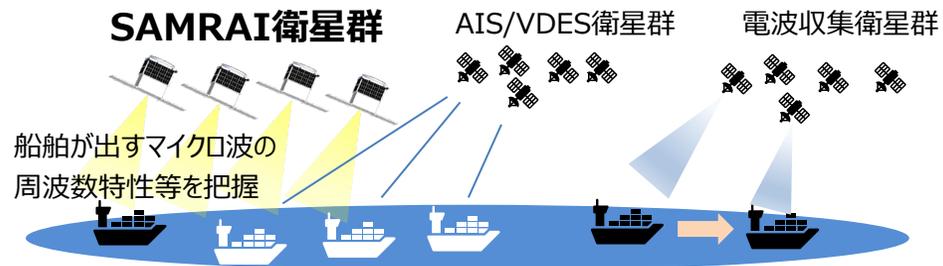
※なお、厳密な事業計画検討・申請や運用管理には、0.1m/s、0.1秒間隔といった高精度観測が必要であり、ライダー等による観測が必須となる。

※沖合ではフローティングライダー

- 2040年には約10%を洋上風力発電が担い、3000~4500万kWの発電が必要。このためには、沖合(領海以遠)での浮体式洋上風力発電が必須。
- 地上観測が困難な沖合での面的風力観測手段としてSAMRAIが重要。



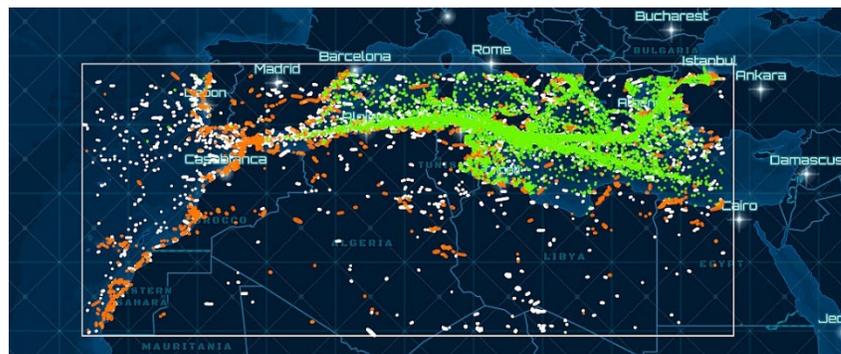
## 船舶分布を準リアルタイム把握できる未来社会を支えるSAMRAI衛星観測



想定ユーザ：海上保安庁(警備・救難)、水産庁(違法操業取締)、税関(海上取締)、安全保障ユーザ、海外機関等

- 課題：従来型の電波収集衛星では、船舶種類等の識別が困難。周波数を隠す船舶の識別が困難。
- SAMRAIの広帯域観測により船舶の電波情報を漏らさずマッピング(位置同定精度1-2km)し、船舶が出す電波の個癖を把握。AIS(船舶識別情報)衛星群の情報と組み合わせ、追跡すべき不審船を識別し、識別した不審船を、低コストな電波収集衛星群で追跡することで、準リアルタイムの「船舶の見える化」を実現。

- 衛星による世界の電波収集市場は、2022年度で約**160億円**と大きく拡大しており、複数企業が参入。CAGRは66%と推定。
- 我が国でも、経済安全保障重要技術育成プログラムにおいて、「船舶向け通信衛星コンステレーションによる海洋状況把握技術の開発・実証」として、147億円の予算が計上されており、次世代AIS(VDES)と、L, S, X, Kバンドの電波収集が可能な衛星群を開発・実証予定。
- 現状の電波収集衛星群はいくつかのチャンネルのみ受信可能だが、**SAMRAIは広帯域をくまなく観測可能**。船舶識別に重要な情報であり、ユーザからSAMRAIへの強い期待が存在する。
- 既存の電波収集衛星群は位置同定のために、3機編隊で観測する必要があるが、**SAMRAIは非常に高いレートでのデジタルサンプリングにより、1機で船舶の位置同定を実現**。

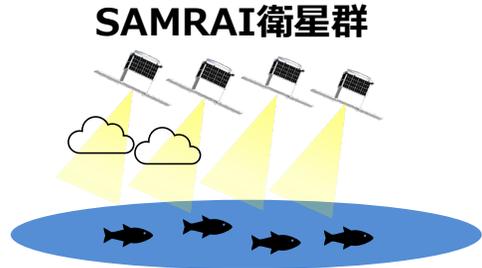


(参考) 米国の電波収集衛星Hawkeye360による船舶マップ



- 違法操業、瀬取りの削減、海上の警備救難の高度化等を実現することにより、**安心・安全な海域を実現し、自由で開かれたインド太平洋(FOIP)にも貢献**。
- ※世界の違法・無報告・無規制(IUU)漁業の被害額は年間140-330兆円と大きい。

## 持続的な水産業が実現した未来社会を支えるSAMRAI衛星観測



想定ユーザ：漁業者、水産庁など

	沿岸漁場(日帰り操業)		沖合・遠洋漁場
海岸からの距離	0-20km	20km-100km	100km-200海里
漁船サイズ	5トン未満	5トン-10トン	10トン以上
漁船数	約38,000隻	約8,000隻	5,400隻 (現状700隻利用)
漁業者	約100,000人(沿岸漁業)		約4,000人(沖合・遠洋漁業)
主な漁業と漁獲金額	イワシ・サバ・アジ 年間1,500億円		カツオ・マグロ・イカ・サンマ 年間2,800億円

- 課題：曇天時に沿岸部の海面水温の広域把握ができず漁場探索ができない。沿岸漁業における管理漁業のための漁獲データが入手できない。
- SAMRAIの小型で高性能なアンテナ等により、**全天候の高頻度・高解像度な海面水温観測**(3時間毎、7km)により、**漁場探索システムを沿岸部にも拡張**。(※従来は20km, 12時間毎)
- 加えて、**漁場探索に有効な海面塩分を新規に観測**(3時間毎、50km、±0.5℃)
- 同システムをインセンティブとして漁船から漁獲情報を取得するシステムを導入し、「管理漁業の実現に貢献」。**

### 【衛星海面水温データによる漁場探索】

- アプローチ1：海面水温と魚が好む温度帯・温度変化箇所(潮目等)の相関により、マグロ・カツオ等の漁場を識別
- アプローチ2：海面水温等を含む環境情報と、ベテラン漁師の漁獲場所・タイミング等との相関をAIでアルゴリズム化

- 従来は、20kmよりも沿岸部のマイクロ波観測では、陸地が混じってしまい観測が出来なかったが、SAMRAIにより**7km～20kmの領域での沿岸漁業で漁場探索ができるようになる。**

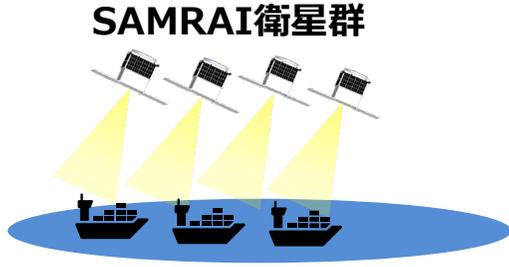


既存の漁場探索サービスの効果

- 沖合・遠洋の海面水温観測の高分解能化・高頻度化や海面塩分の活用と合わせ、**漁獲タイミングの最適化や、燃料消費量の削減を実現。**
- 国内の漁場探索サービス市場は現状約2億円/年。

# (5) 船舶航行分野における社会実装・創出価値

## AIによる無人船舶航行が実現した未来社会を支えるSAMRAI衛星観測



想定ユーザ：商船会社等

- 課題：海域の海象に関する全天候型の実測データが少なく、船舶航行最適化のためのモデル精度が低い。
- SAMRAIによる高頻度・高解像度な海面水温、風速、海水密度等の観測により、流速場等の航路最適化のためのモデルを高精度化。
- SAMRAIで高度化した気象・海況予測や安全な海域の情報を活用し、「船舶無人航行に貢献」。

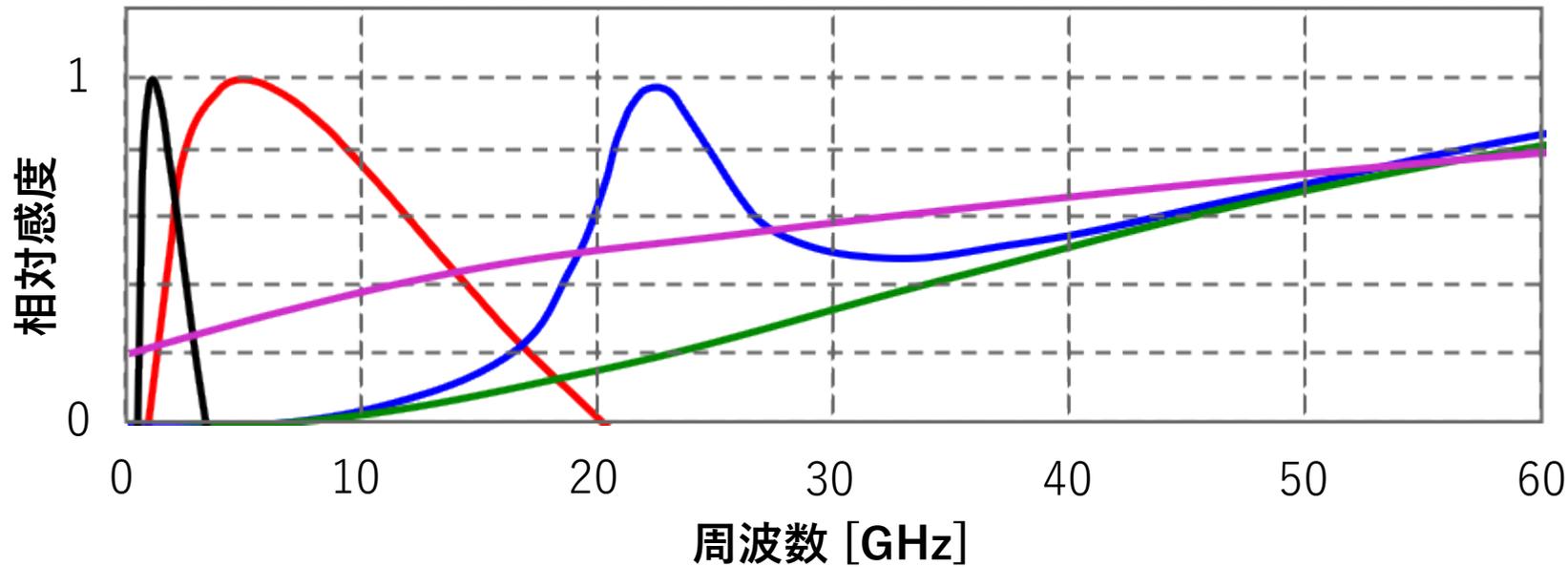
- 2040年には国内の船の50%が無人船になる予測がある。AIベースで船舶の無人化が進む未来社会においては、AI船舶が周囲環境を把握・予測するためのデータが死活的に重要。
- 船舶は輸送分野において自動車に次ぐGHG排出源。航路最適化により、船舶の排出を全世界で1%削減できると、日本の家庭が排出するGHGの5%超の排出削減が可能。
- 航行コストの削減インパクトをベースとした、航路最適化サービスの国内市場規模は約13億円と推計。
- 夏の一定期間北極海を航行できる「北極海航路」を船舶が利用できるようになれば、欧州－アジア間の輸送では航海距離が現在のスエズ運河経由の半分、喜望峰経由の1/3程度に短縮され、燃料費、環境負荷の大幅な軽減が可能。



# 想定される用途・価値仮説を踏まえた SAMRAIの仕様・技術検討状況

# SAMRAIで必要となる観測周波数

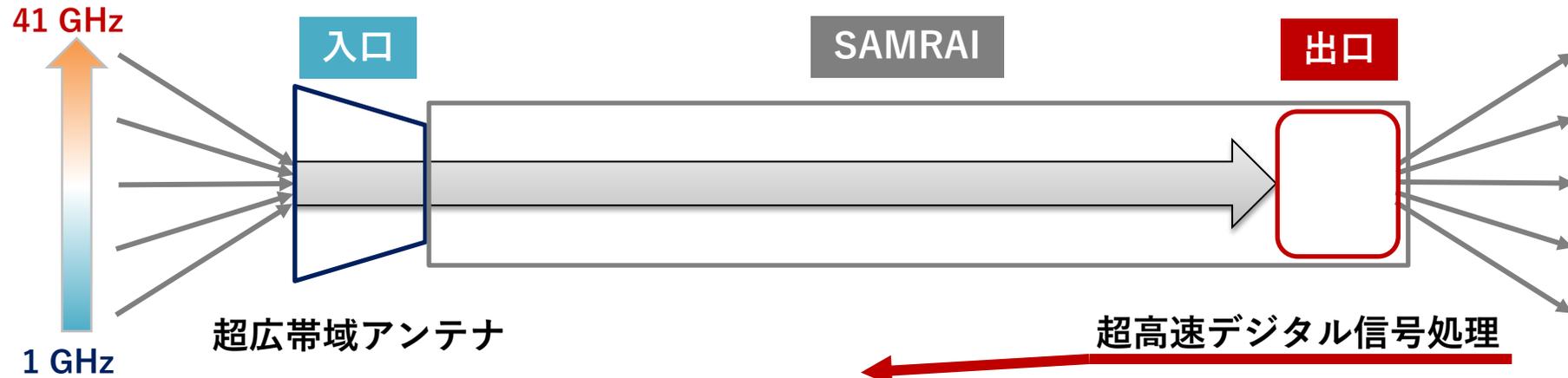
- (1) 気象・防災 → 水蒸気量 降水量
- (2) 洋上風力発電 → 海上風速
- (3) 電波収集・船舶検知 → (広帯域・高周波数分解能)
- (4) 管理漁業 → 海面塩分 海面水温
- (5) 船舶航行 → 海面水温 海上風速



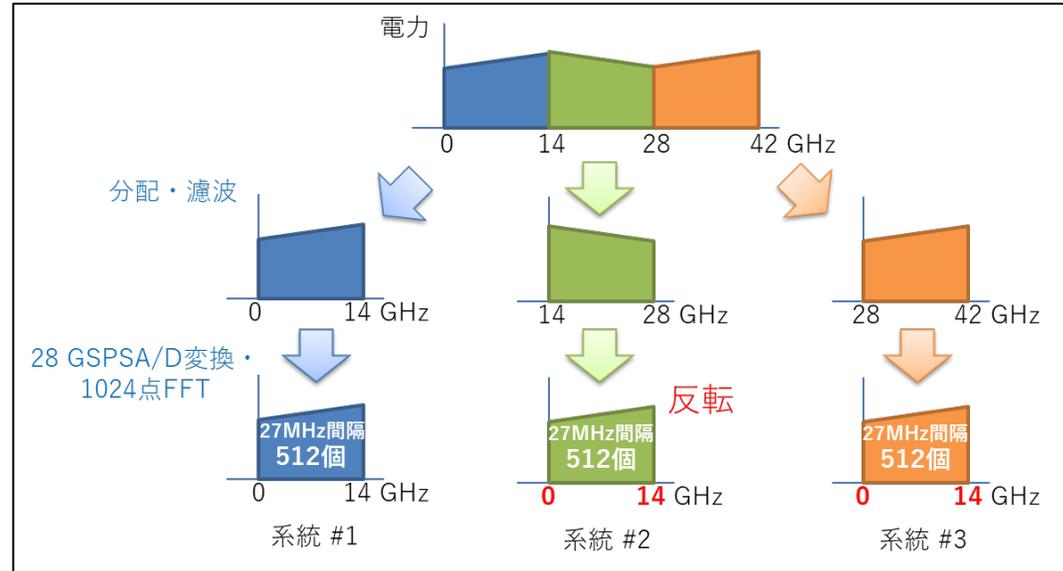
← SAMRAIで必要となる観測周波数 : 1 ~ 40 GHz →

# SAMRAIと超広帯域マイクロ波計測技術の親和性 (1)

衛星搭載 → 小型・軽量化が必須 → 超広帯域マイクロ波計測技術との親和性が高い。



1秒280億コマ(28GHz)対応のAD変換器は、幅が14GHzのマイクロ波信号を分離可能  
 → 1~41 GHz (40 GHz幅) の信号は、このAD変換器を3つ使って分離可能

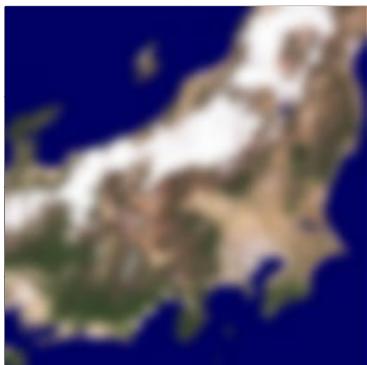


# SAMRAIと超広帯域マイクロ波計測技術の親和性 (2)

衛星は高度数100km~ → 小さい画素；視野(=高い空間分解能／空間解像度)が必須

空間分解能が低いとは

大きな視野を動かして、  
(走査して)  
地球表面の  
マイクロ波強度を計測



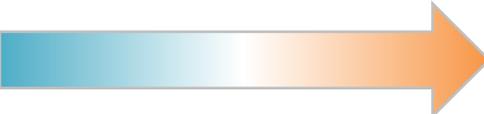
ぼやけたイメージに

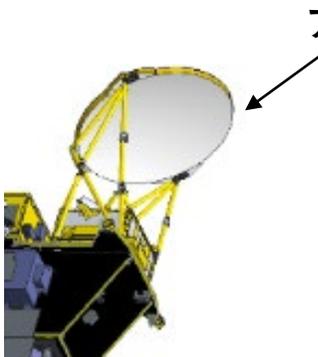
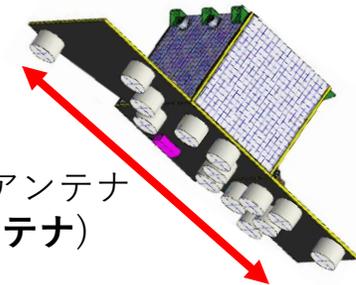
空間分解能が高いとは

小さな視野を動かして、  
(走査して)  
地球表面の  
マイクロ波強度を計測



鮮明なイメージに



	従来のマイクロ波計測技術	超高速マイクロ波計測技術
空間分解能を上げる方法	 <p>アンテナ反射鏡</p>	 <p>複数装備したアンテナ (アレイアンテナ)</p>
	<p>アンテナ反射鏡の直径を伸ばす。 → 大型化すると重量増で打上げコスト増。</p>	<p>アンテナ反射鏡の直径に対応する最も遠い2つのアンテナ間の距離を伸ばす。 → 小型化・重量減に有利。</p>

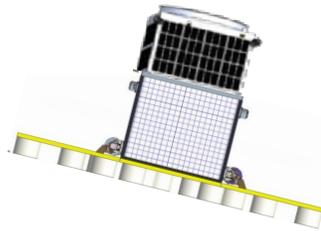
# SAMRAIの開発段階

## 【第一段階】 航空機搭載SAMRAI



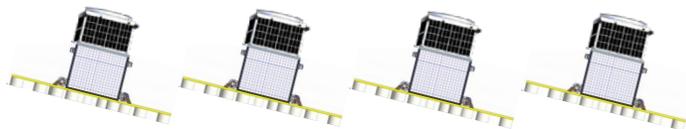
2022年度、2023年度実証実験

## 【第二段階】 衛星(200kg)搭載SAMRAI



2026年度実証衛星打上げ予定

## 【第三段階】 衛星搭載SAMRAI コンステレーション

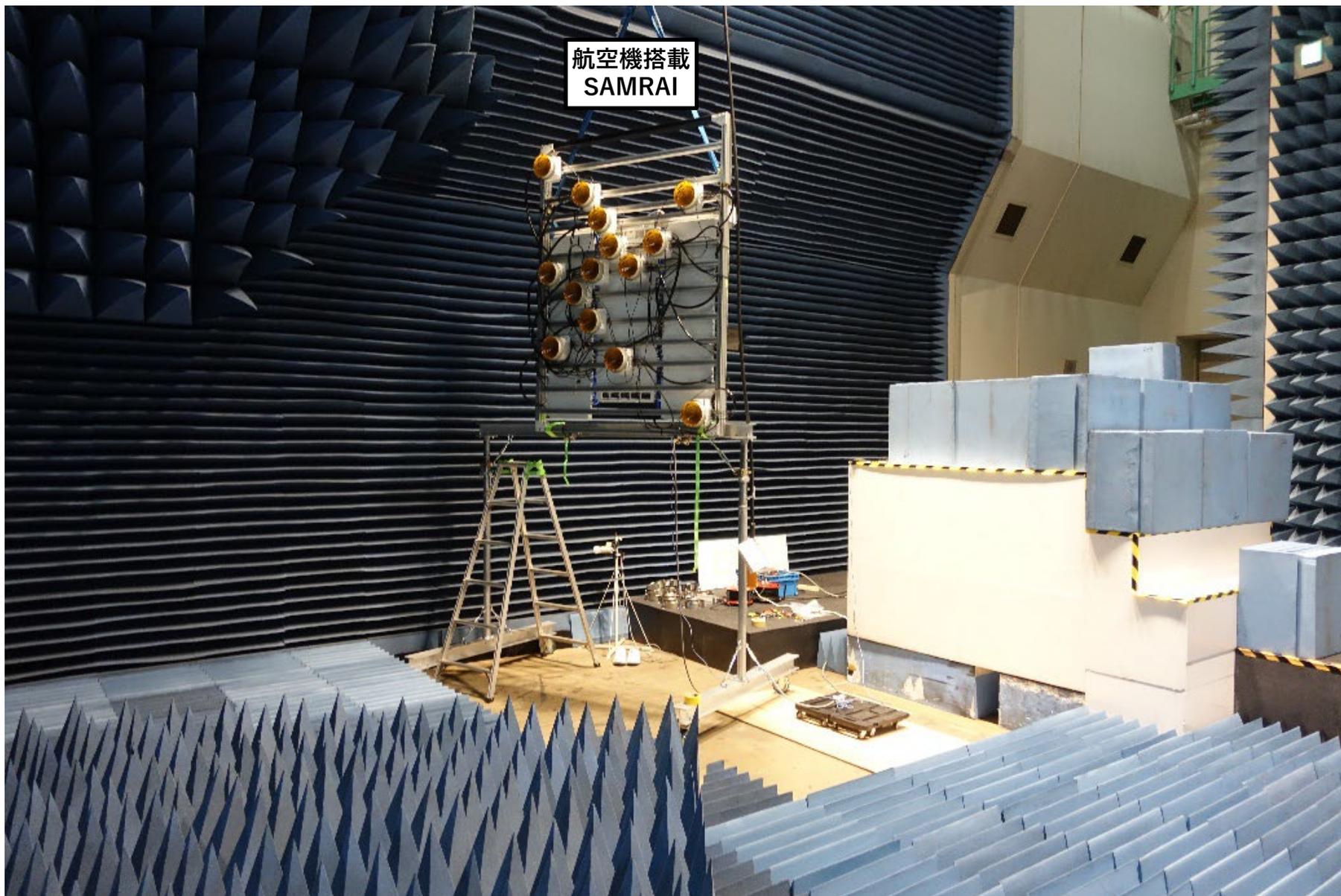


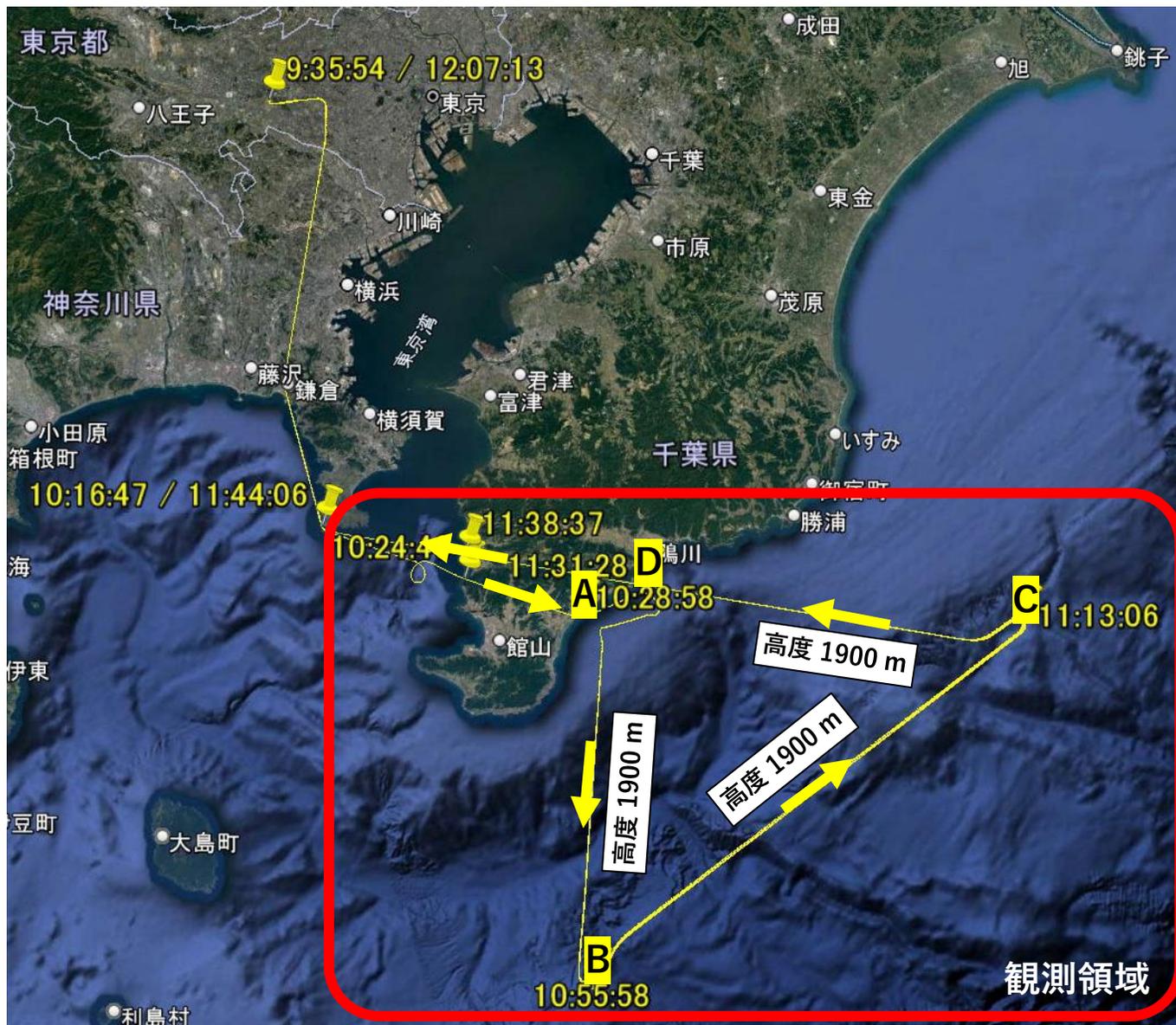
2030年度以降

航空機搭載SAMRAIによるフィールド実験、及びその前段階の電気性能試験が今後のSAMRAIの研究開発の成否を左右する。

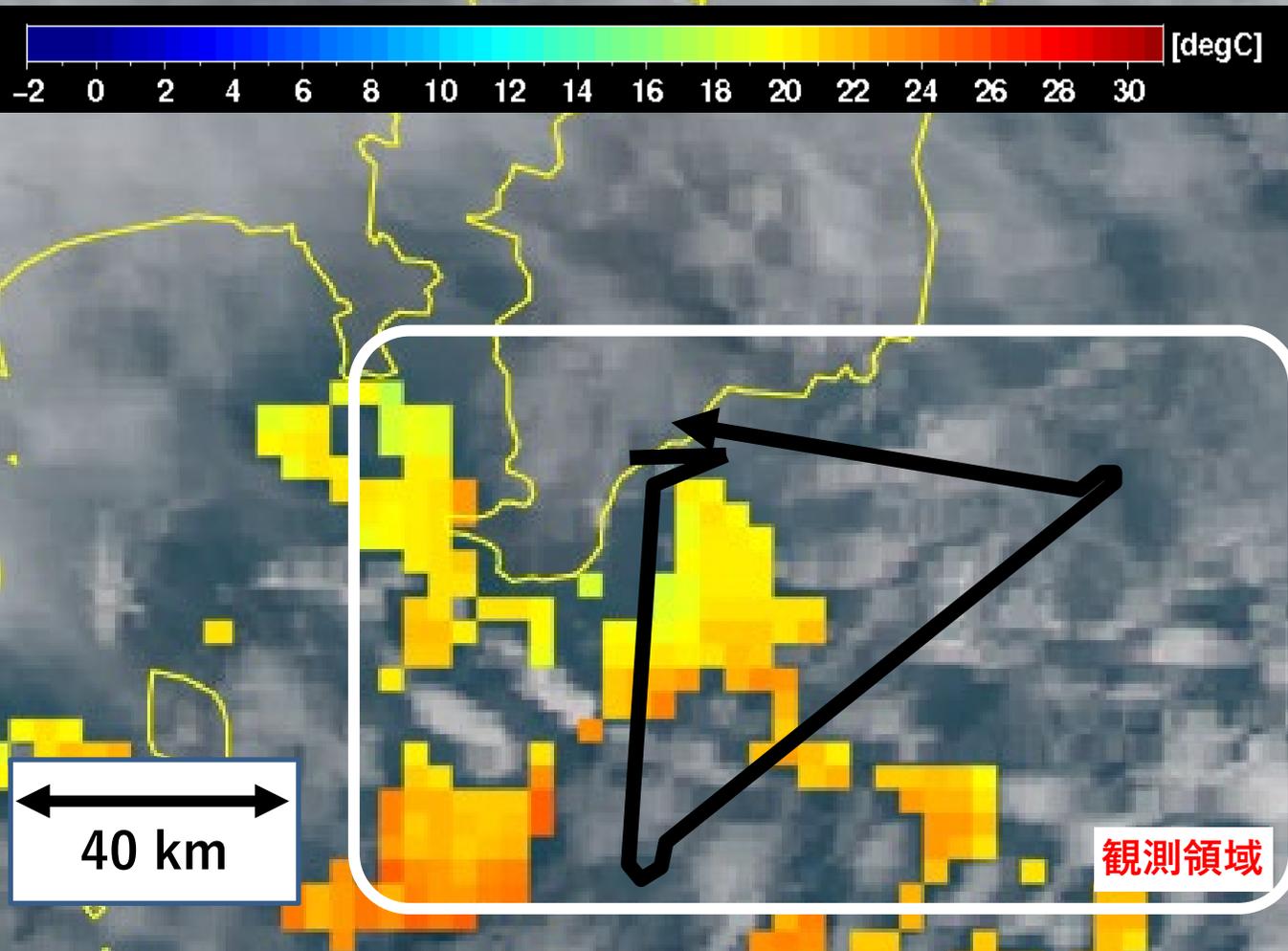
## 【第二段階】 SAMRAI実証衛星の主要諸元

外観	 衛星搭載SAMRAI
デジタル変換速度	28億コマ/秒
観測周波数	27 MHz間隔で連続的に 1 ~ 40 GHz
アンテナ総数	14個 (構造上の上限)
最大素子間距離	2.3 m
空間分解能	入射角55° で 7 km @ 10 GHz, 2 km @ 35 GHz

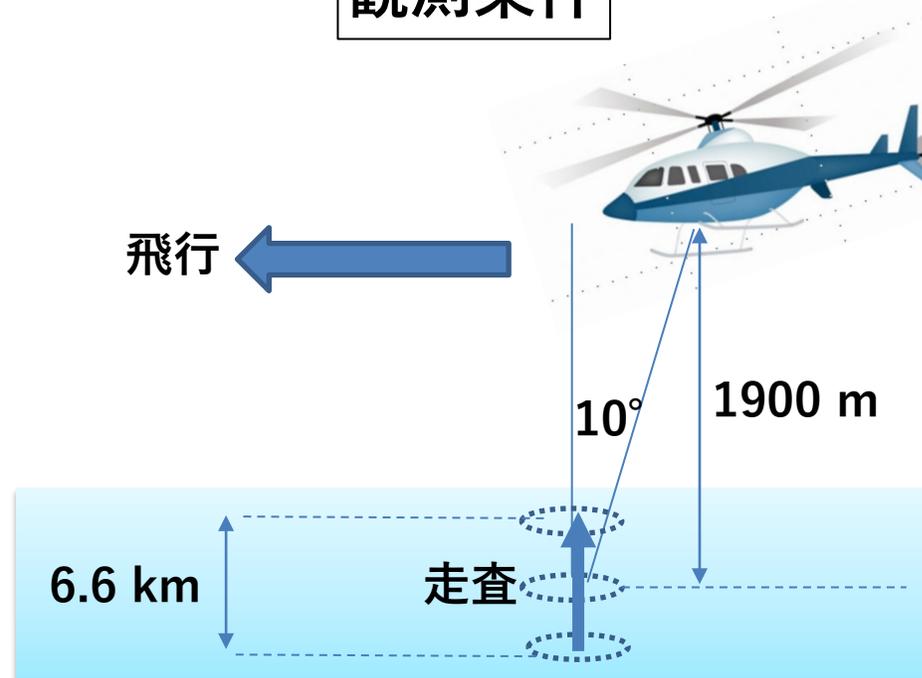




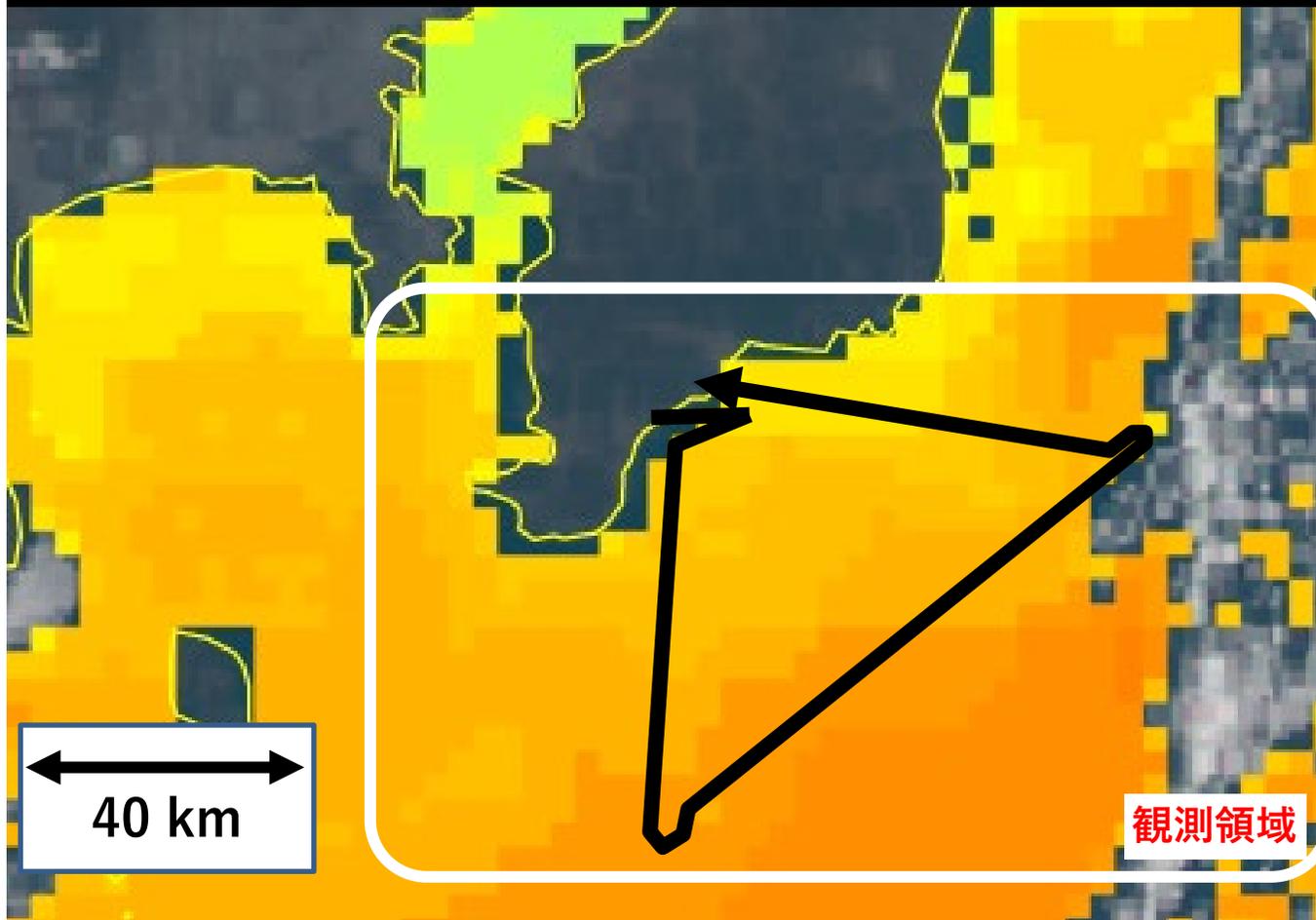
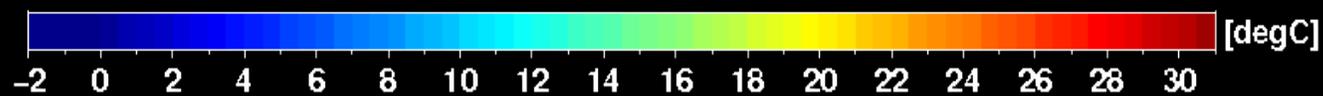
同時時間帯に観測された「ひまわり」による海面水温分布  
 → 雲によってほとんど欠測しており、  
 海面水温が推定された地点も推定条件は良くない。



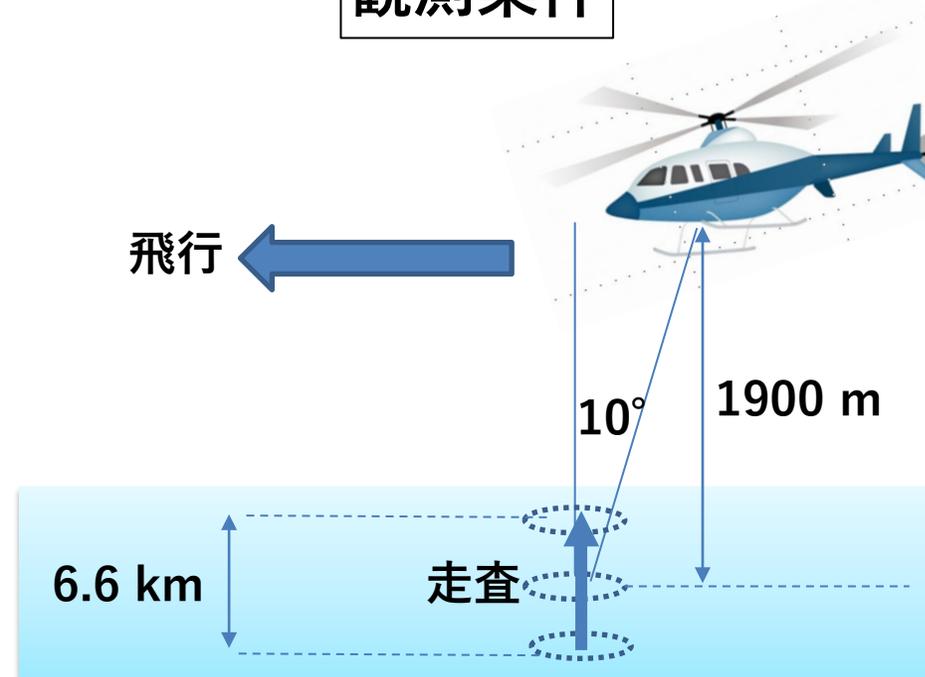
## 観測条件



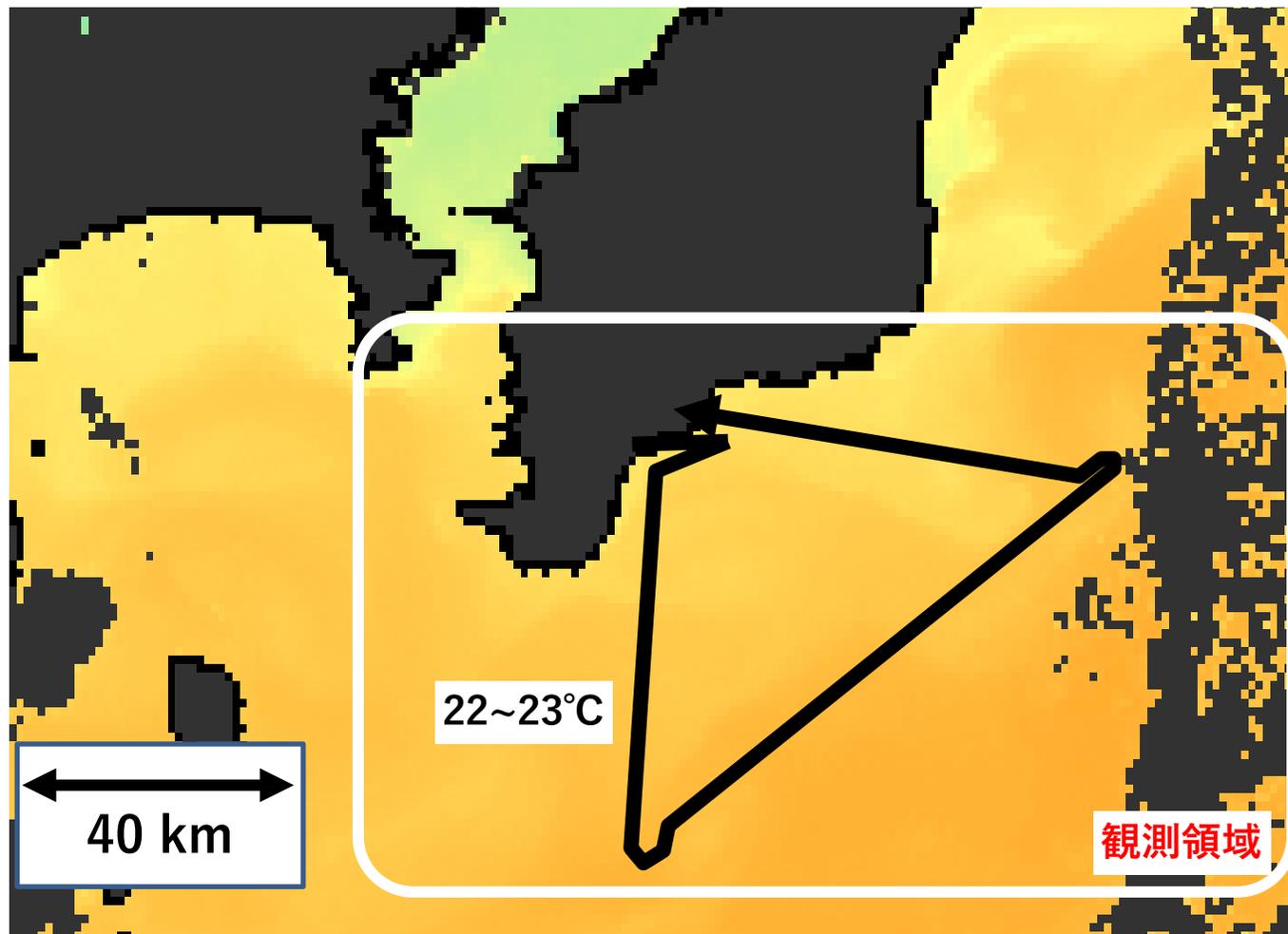
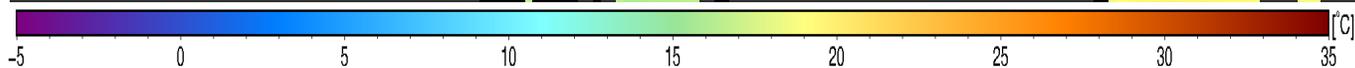
遡って「ひまわり」で良好な海面水温が観測された日時  
(11/27 10:40)



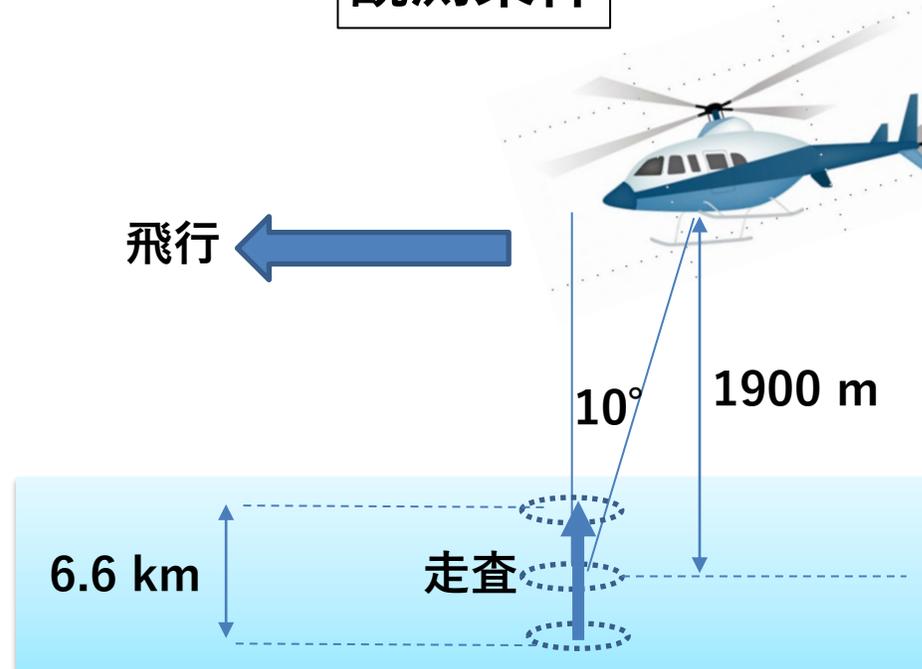
## 観測条件



遡って「しきさい」で良好な海面水温が観測された日時  
(11/27 10:40)

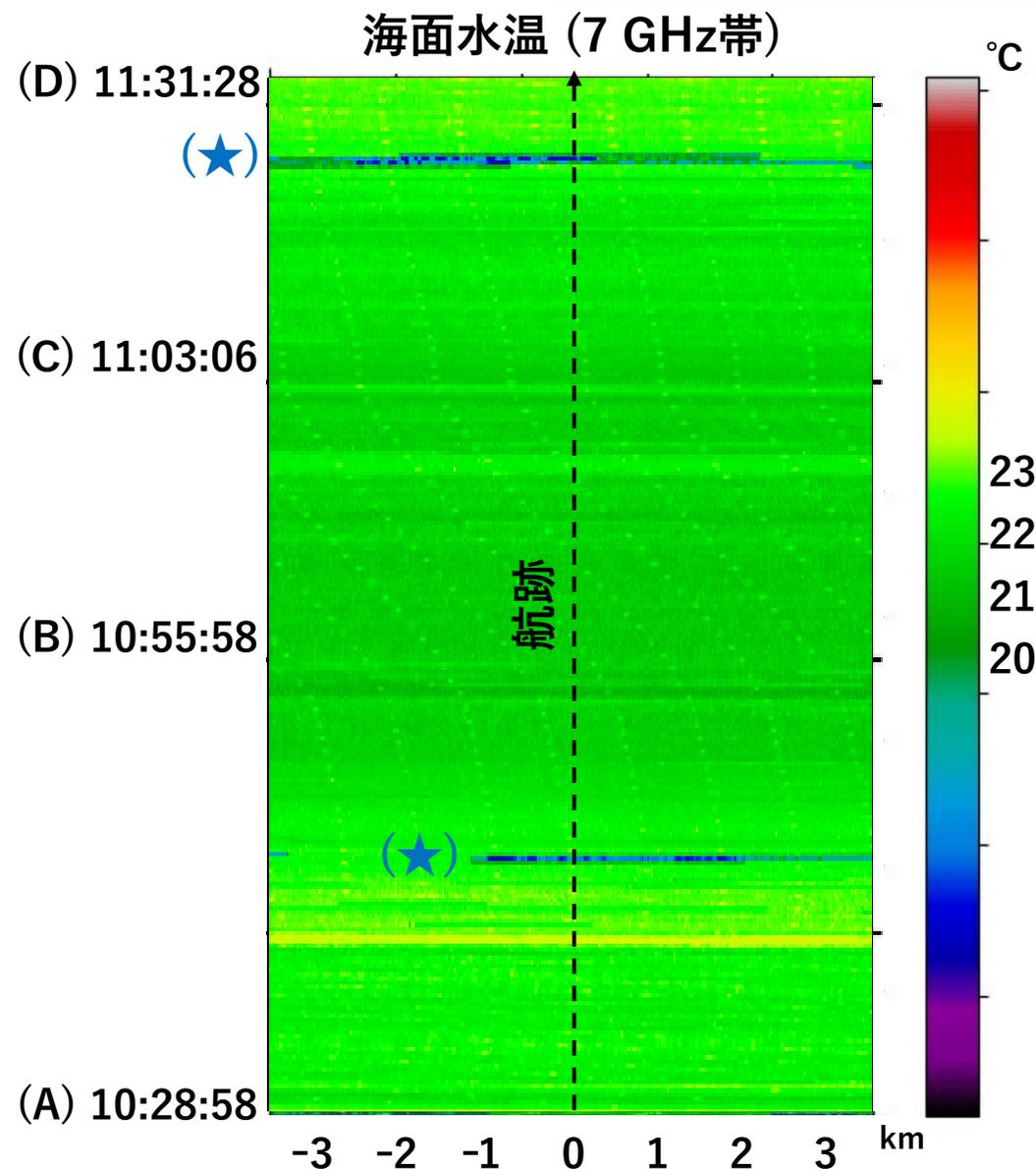
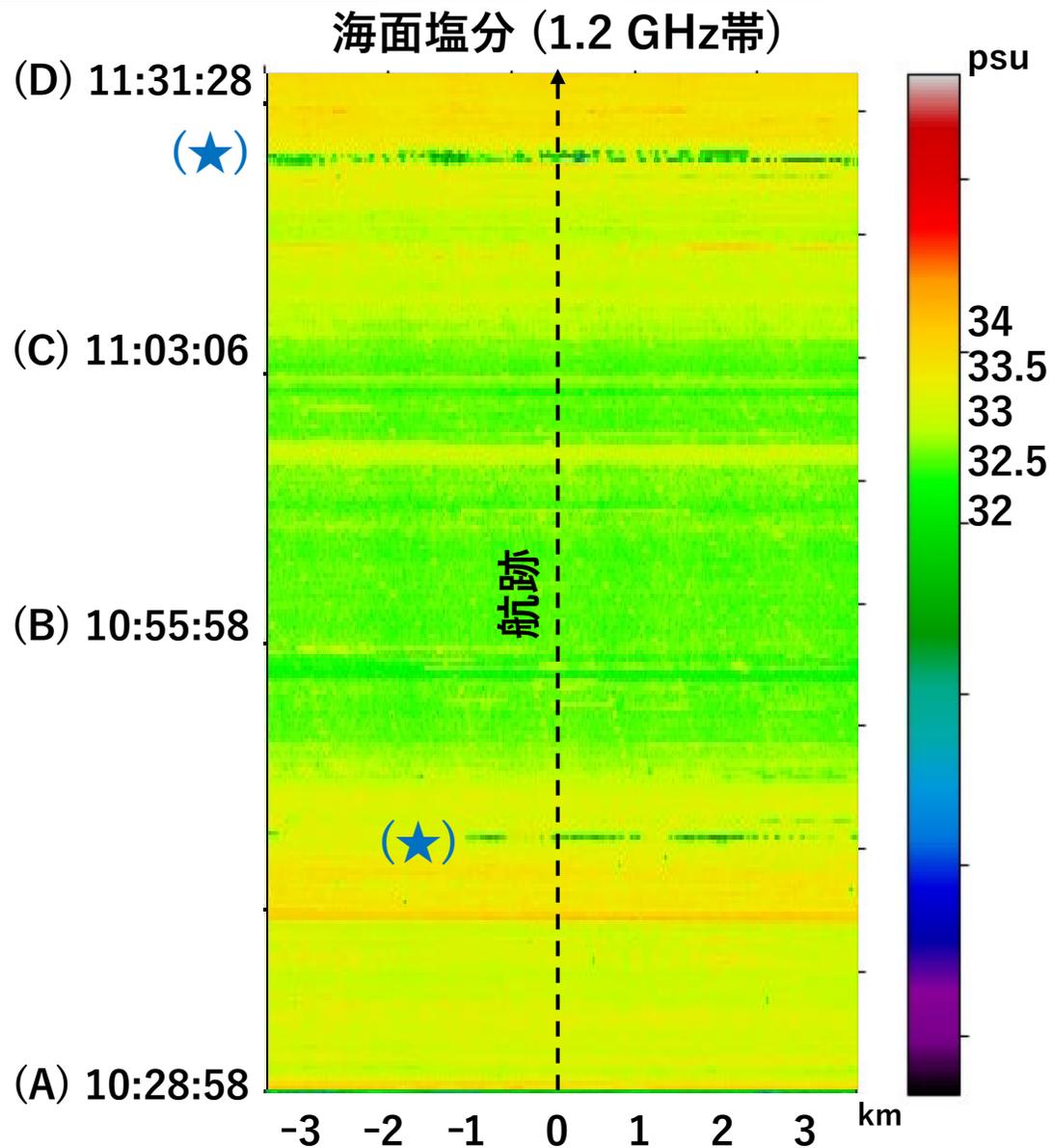


## 観測条件



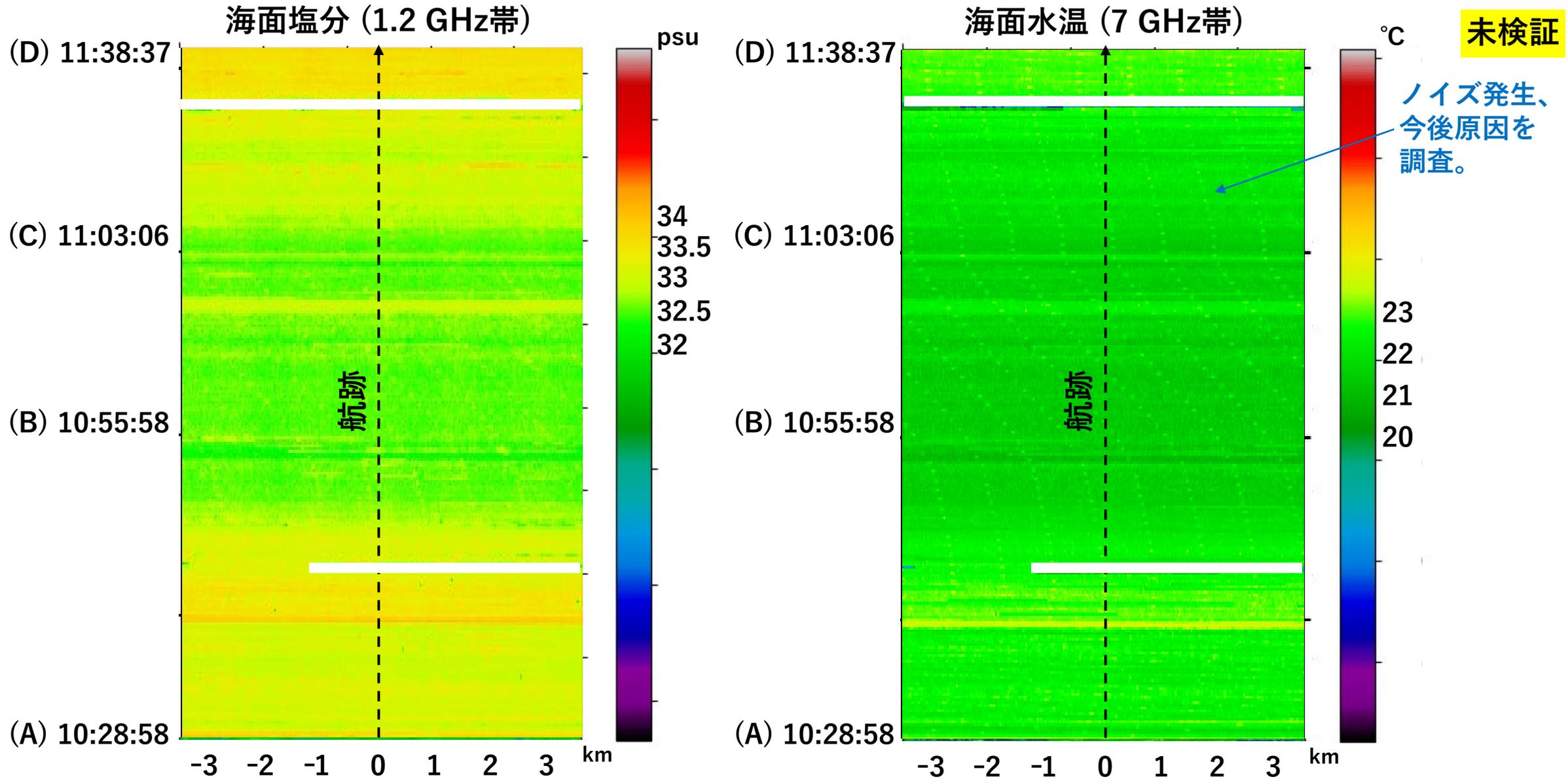
「ひまわり」から推定された海面水温、  
「しきさい」から推定された海面水温も  
厳密には同じではなく、真値ではない。あくまで目安。

未検証



(★)は、強い人工電波を受けた他の帯域で増幅器能力を使い果たした(飽和した)ため、全体の受信レベルが低下

# 航空機搭載SAMRAI ヘリコプター観測結果



海面塩分・海面水温の同時観測を確認。

- 超広帯域マイクロ波計測技術を適用した超広帯域電波デジタル干渉計(SAMRAI)の**用途・価値仮説を検討**
  - (1) 気象・防災 / (2) 洋上風力発電 / (3) 電波収集・船舶検知 / (4) 管理漁業 / (5) 船舶航行
- 想定される用途・価値仮説を踏まえた、SAMRAIの**仕様・技術を検討**
  - ✓観測周波数: 1 ~ 40 GHz
  - ✓衛星質量 : 200 kg 級 → 14個のアンテナで高空間分解能走査を実現するアレイアンテナが必須
- **衛星搭載SAMRAIの前に航空機搭載SAMRAIを製作。**
  - ✓電気性能試験では**実測でも所望外画素の感度抑制処理の効果を確認。**
  - ✓その後ヘリコプター観測を実施し、**海面塩分・海面水温の同時計測を確認。**
  - ✓7GHz帯に載っているノイズの原因は今後調査。
- SAMRAIの初期観測として、次に繋がる十分な知見が得られたと考えている。