


GRENE北極気候変動研究事業 特別セミナー  
「北極海航路の利用実現に向けて」

# 第III部-2 北極海の航行支援に向けて 最適ルートと運航支援モデル化に向けて

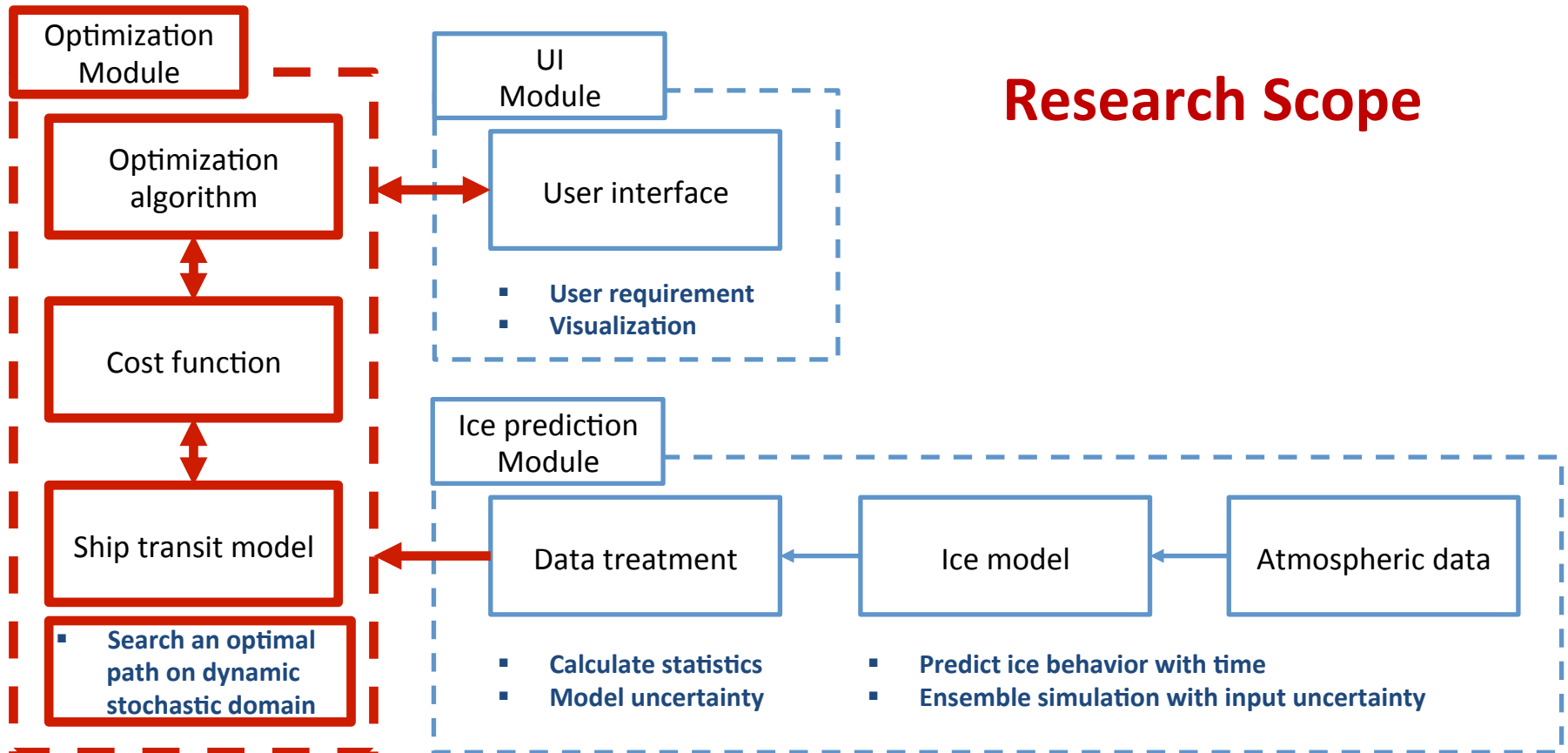
A polar bear is standing on a large, flat piece of ice in the Arctic sea. The bear is white and is looking directly at the camera. The ice is white and has some blue water visible around it. The background is a vast, open sea under a clear sky.

東京大学大学院 新領域創成科学研究科  
海洋技術環境学専攻 山口研究室  
修士2年 中野佑哉

# 最適航路探索に関する研究

M. Choi et al., Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model, Cold Regions Science and Technology, 2014

- 海氷数値モデルによるアンサンブル計算で氷況を設定し、A\*アルゴリズムを用いて航路を決定する



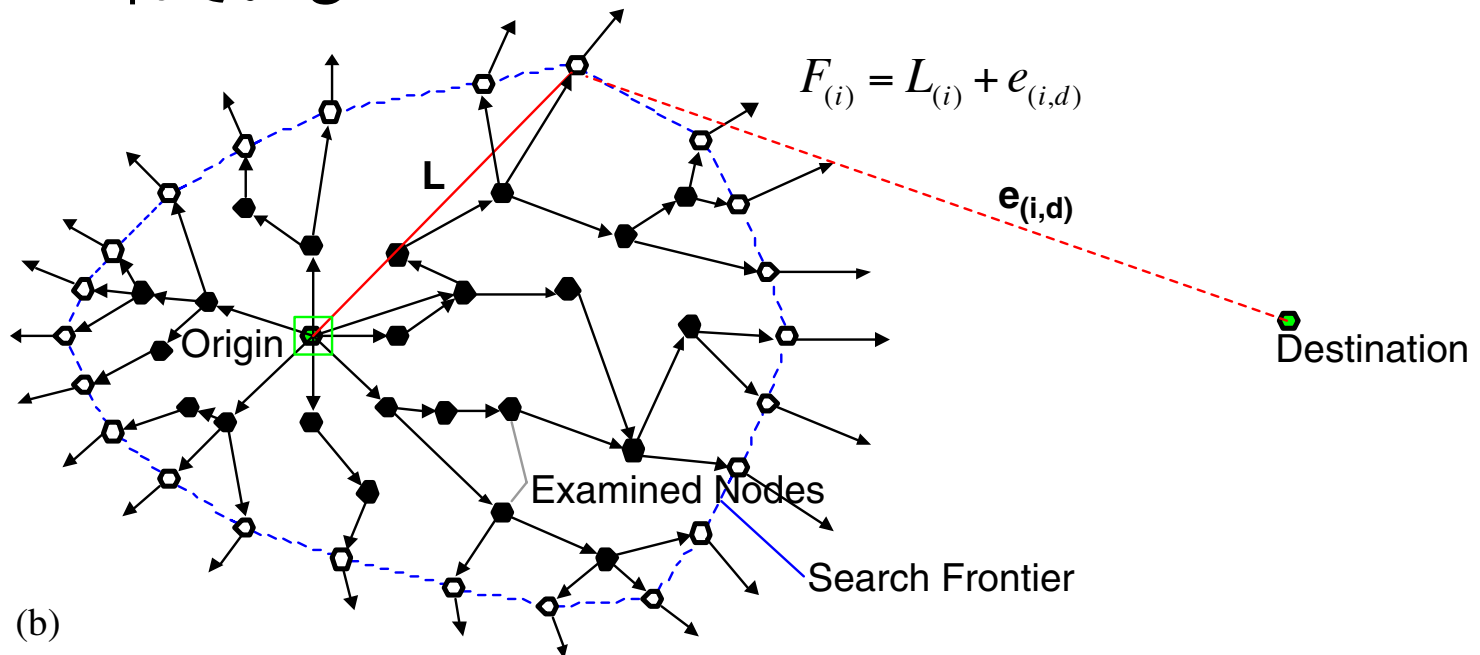
# 最適航路探索に関する研究

M. Choi et al., Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model, Cold Regions Science and Technology, 2014

- 経路探索アルゴリズム

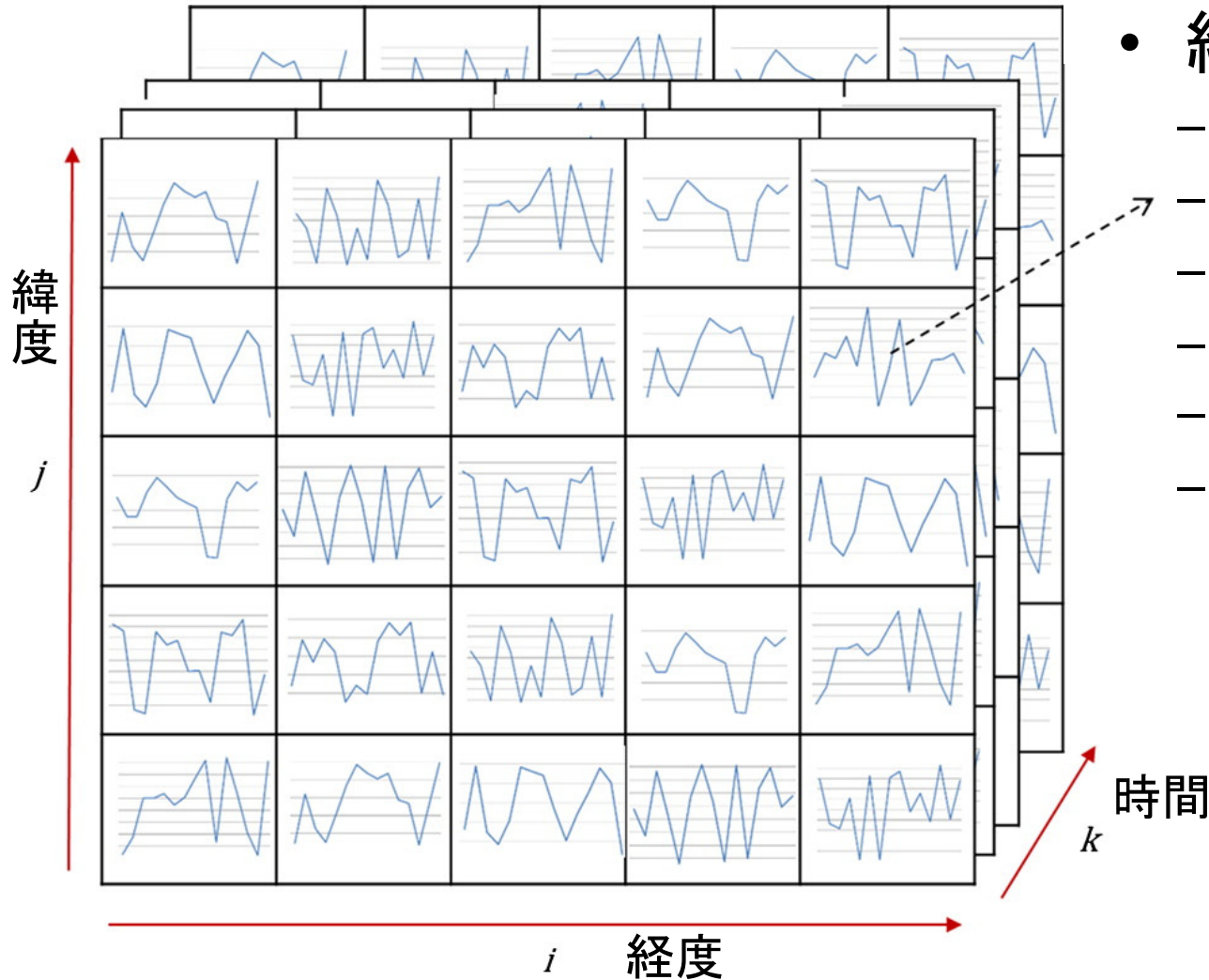
- A\* algorithm (Hart et al., 1968)

- 最良優先探索である
    - 一定の条件のもと、最適解が見つかることが保証されている



# 最適航路探索に関する研究

M. Choi et al., Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model, Cold Regions Science and Technology, 2014

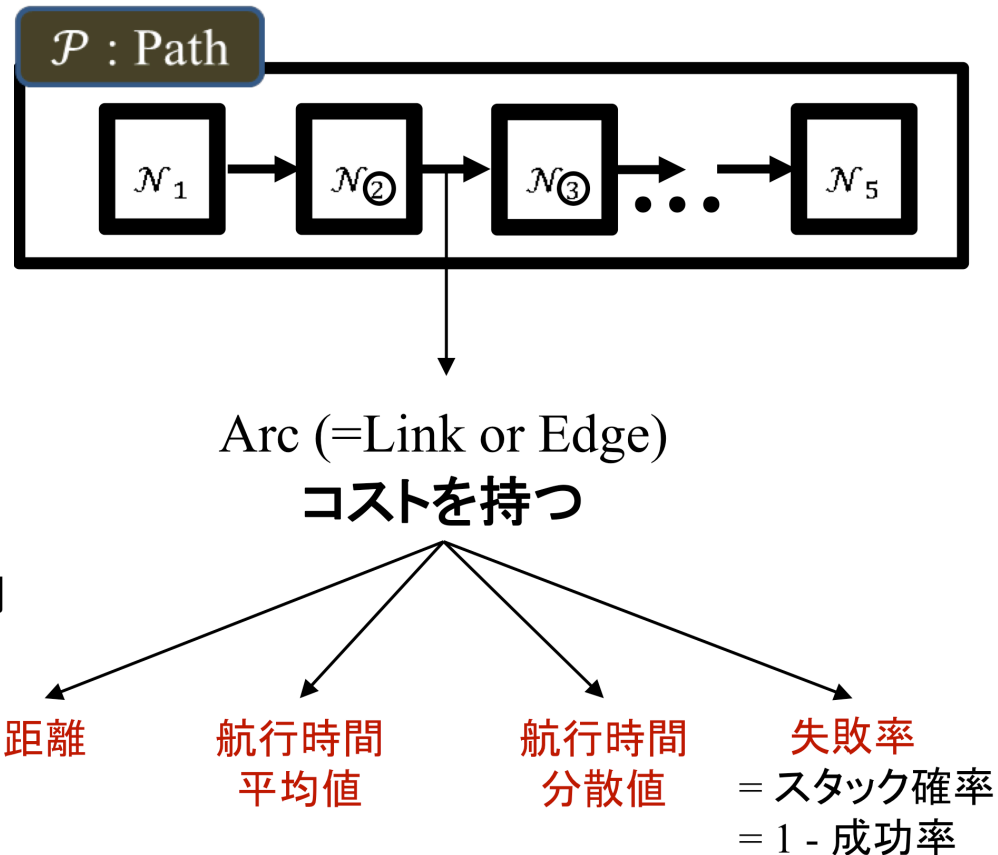
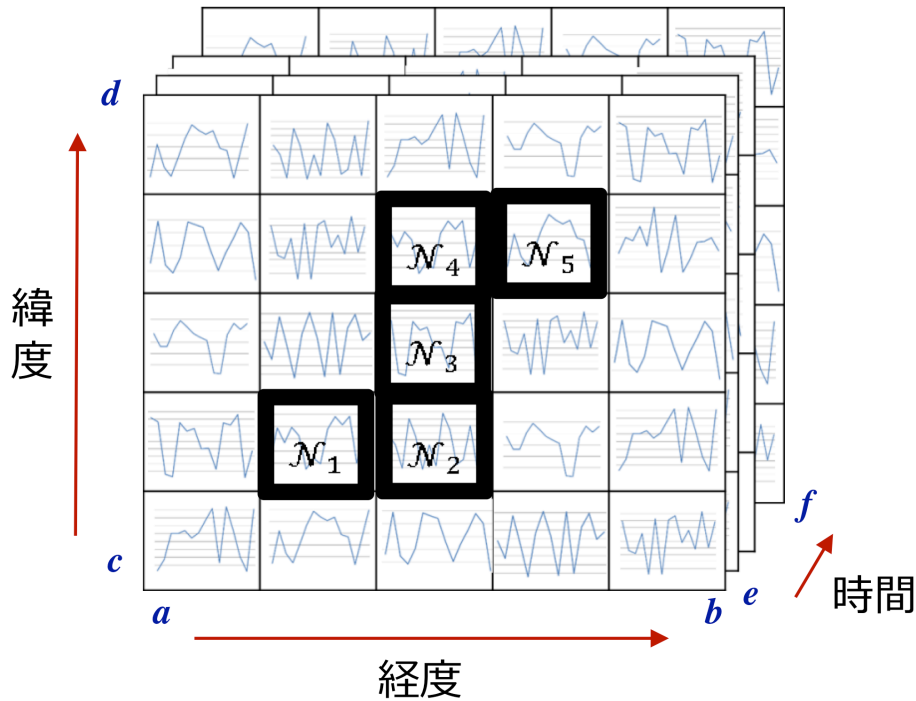


## 統計値

- 海水密接度の平均
- 海水密接度の分散
- 海水厚の平均
- 海水厚の分散
- 密接度と氷厚の共分散
- ...etc.

# 最適航路探索に関する研究

M. Choi et al., Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model, Cold Regions Science and Technology, 2014



Objective:

$$\text{Min } \sum_{i,j \in \mathcal{A}} C_{i,j}$$

# 最適航路探索に関する研究

M. Choi et al., Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model, Cold Regions Science and Technology, 2014

- 想定する船型
  - ABSのカテゴリーでクラスICの耐氷船
  - 砕氷能力0.4m、設計速度14ノット(開水域)
- 船速の設定
  - CRREL's ship transit model (K. S. Choi et al., 2010)をもとに、海氷密接度および氷厚から計算

$$v = -0.011h - 0.0354c + 11.8$$

$v$  : 船速 [knots]

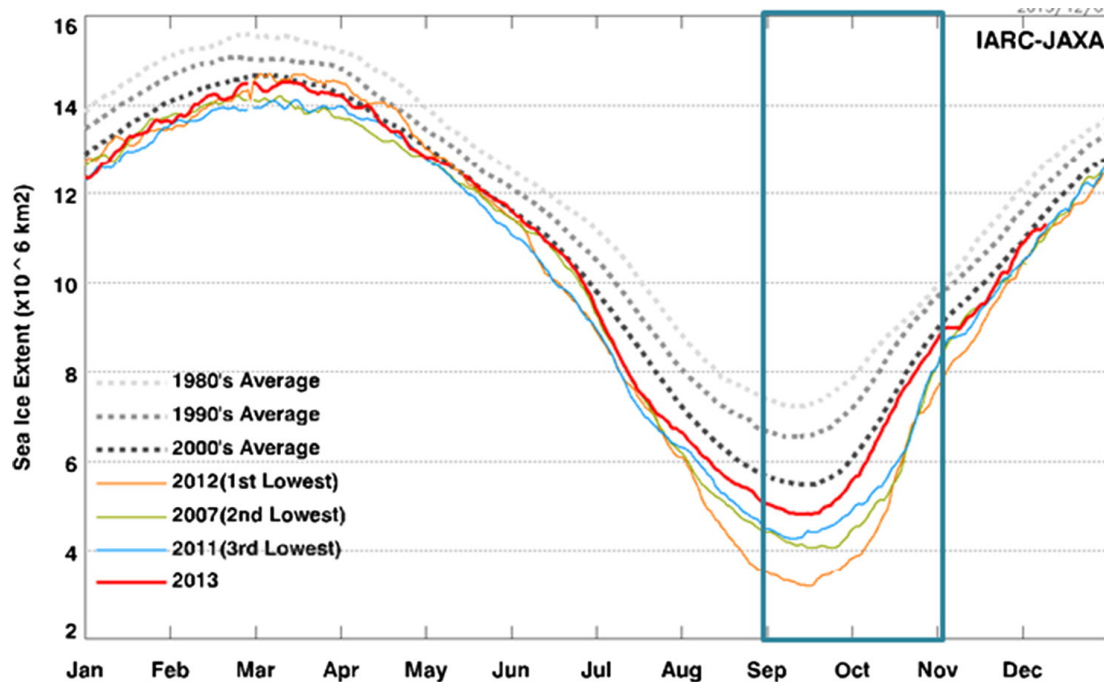
$h$  : 海氷厚 [cm]

$c$  : 海氷密接度 [%]

# 最適航路探索に関する研究

M. Choi et al., Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model, Cold Regions Science and Technology, 2014

北極海の海氷域面積 ( $\times 10^6 \text{ km}^2$ )



[http://www.ijis.iarc.uaf.edu/en/home/seaice\\_extent.htm](http://www.ijis.iarc.uaf.edu/en/home/seaice_extent.htm)

- 期間

- 2011/9/1 ~ 2011/10/31  
(北極海の海氷域が最も変化した期間)

- 2ケースについて計算

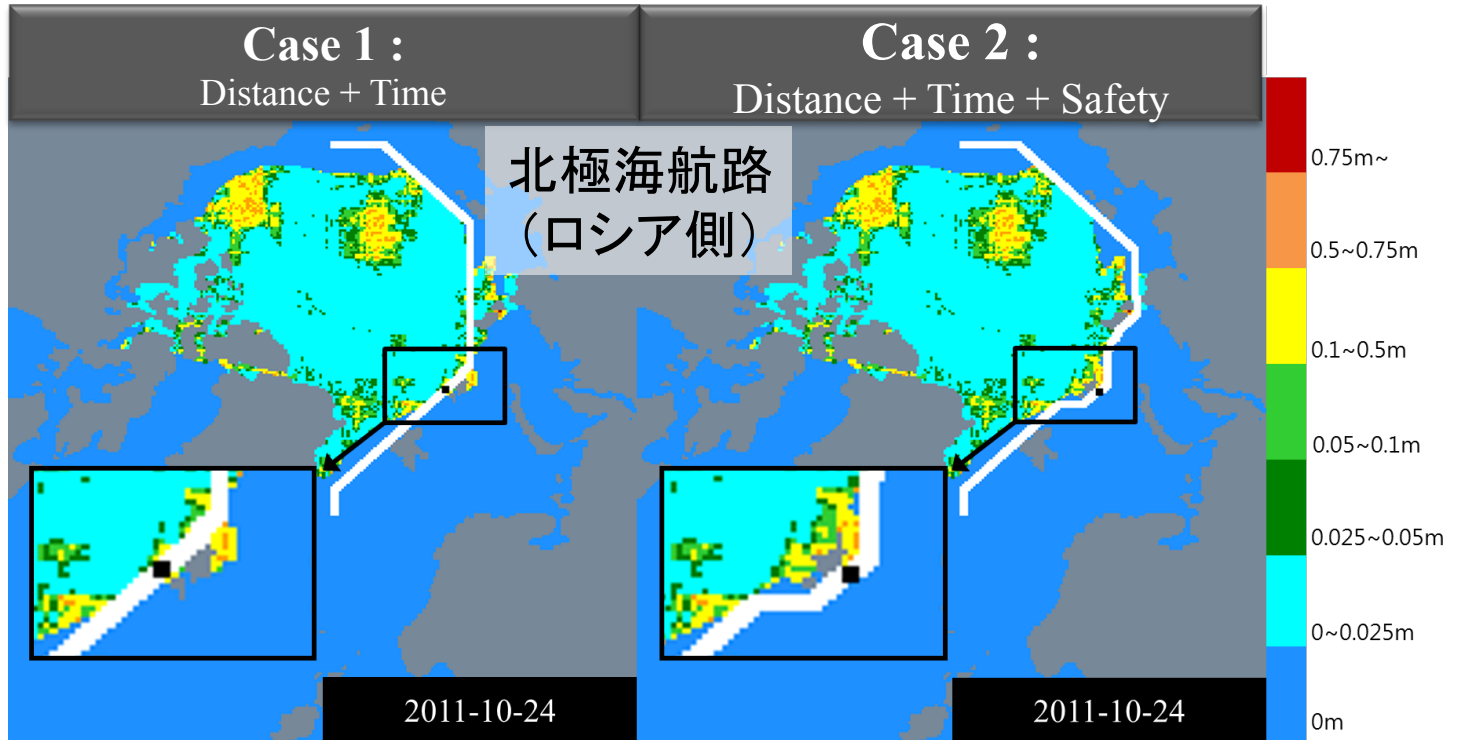
- 北極海航路 (ロシア側)
  - 北西航路 (カナダ側)

- 目的関数

- 距離、時間 + 不確かさを最小化する

# 最適航路探索に関する研究

M. Choi et al., Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model, Cold Regions Science and Technology, 2014

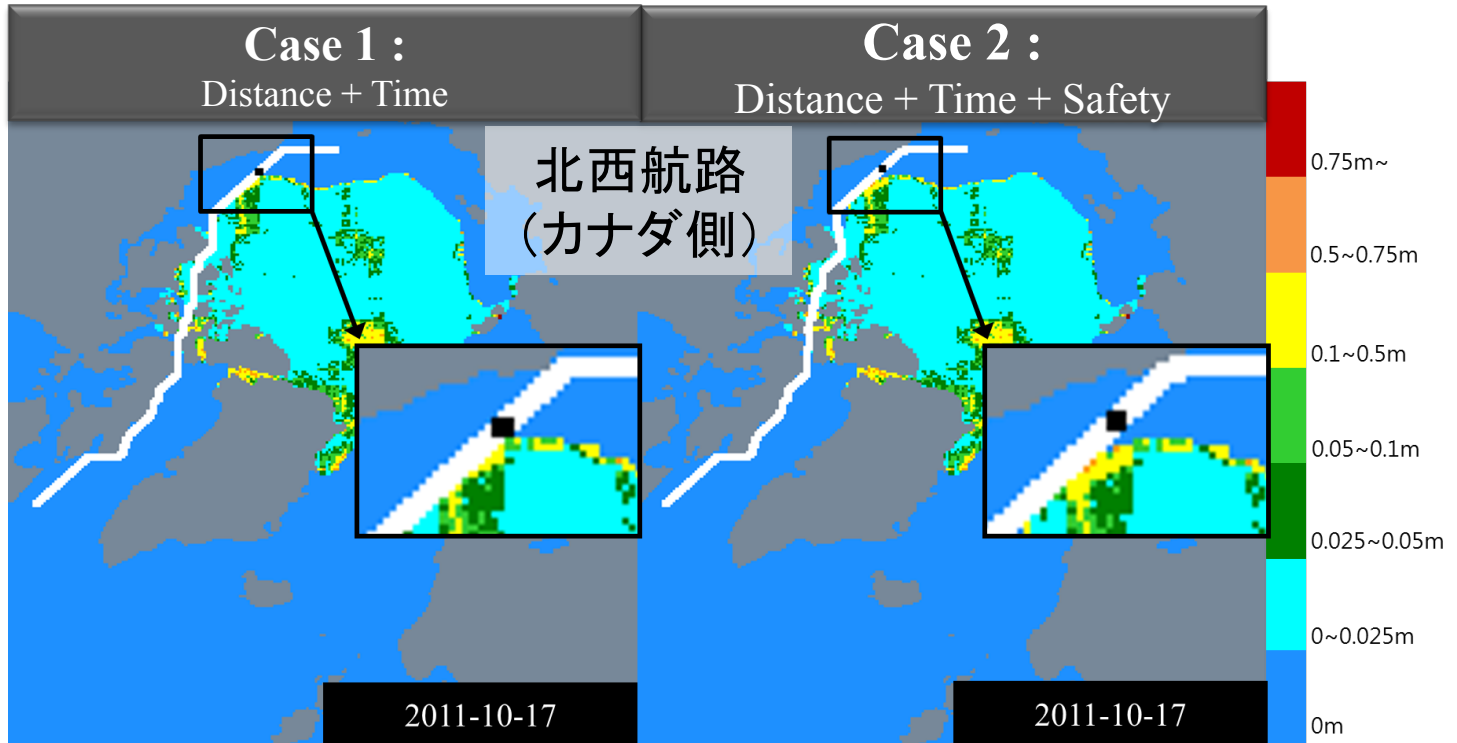


Distance + Time		Distance + Time + Safety	
5.70 秒	計算時間	5.66 秒	
4577.743 km	航行距離	4903.7165 km	
220.277 時間	航行時間の期待値	225.318 時間	
3.561 時間	航行時間の標準偏差	0.867 時間	
47.198 %	信頼度 (スタックしない確率)	99.599 %	



# 最適航路探索に関する研究

M. Choi et al., Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model, Cold Regions Science and Technology, 2014



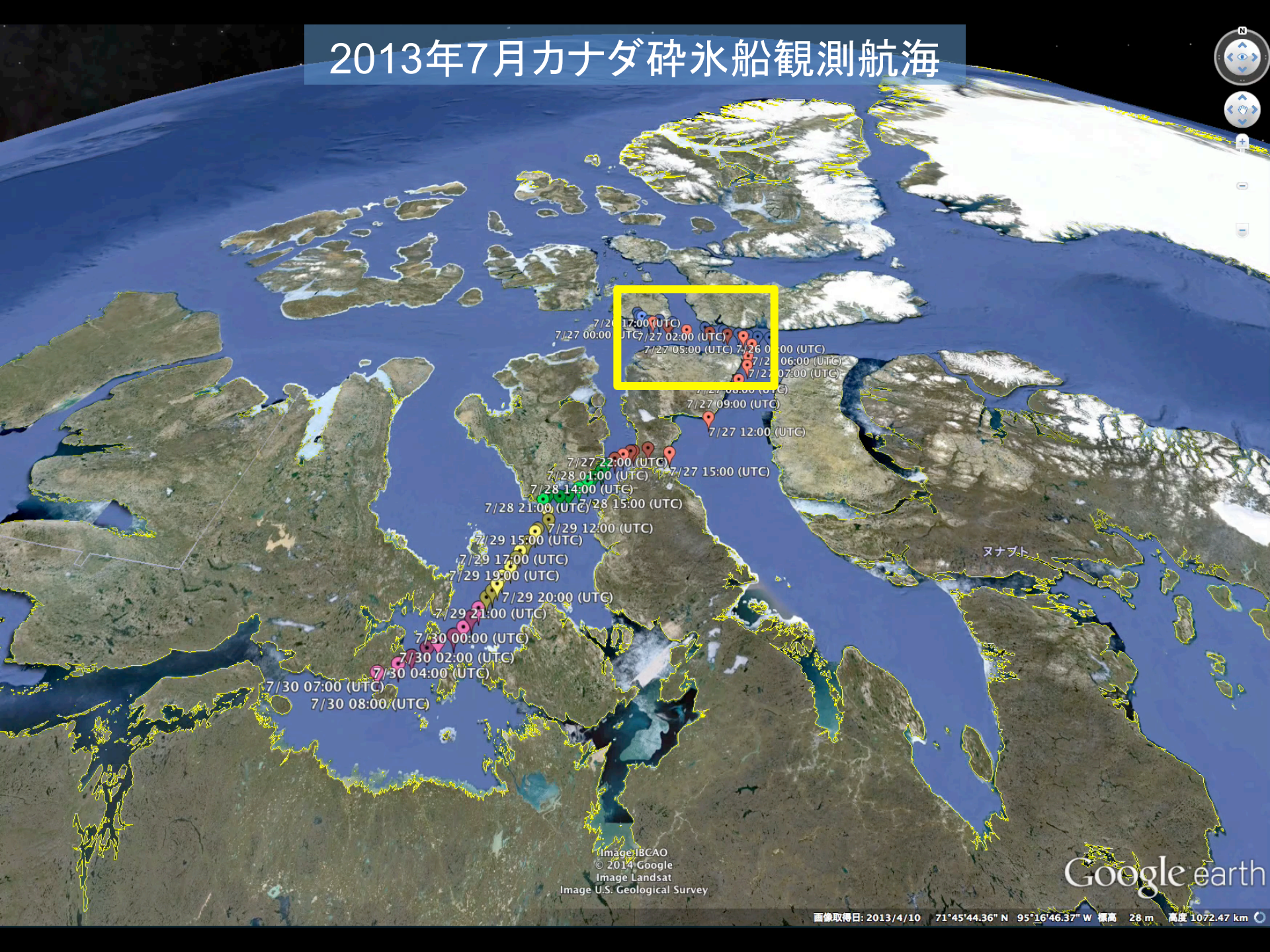
Distance + Time		Distance + Time + Safety	
5.89 秒	計算時間	5.90 秒	
5052.658 km	航行距離	5081.557 km	
243.319 時間	航行時間の期待値	245.246 時間	
12.937 時間	航行時間の標準偏差	2.227 時間	
<b>11.827 %</b>	信頼度 (スタックしない確率)	<b>84.485 %</b>	

# 砕氷航行

2013年7月北西航路航海より



# 2013年7月カナダ砕氷船観測航海



Image/BCAO  
© 2014 Google  
Image Landsat  
Image U.S. Geological Survey

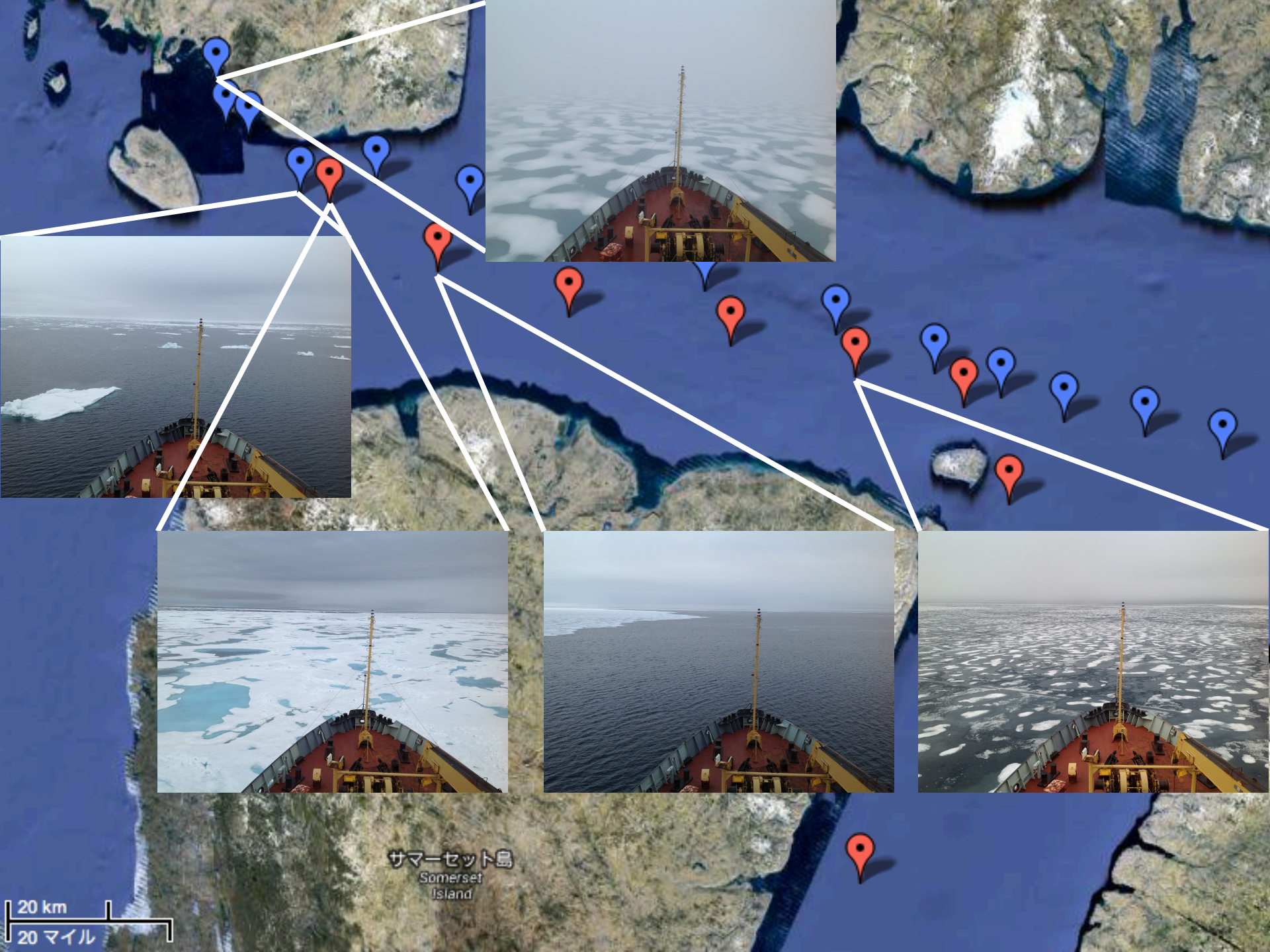
Google earth

# 2013年7月カナダ砕氷船観測航海



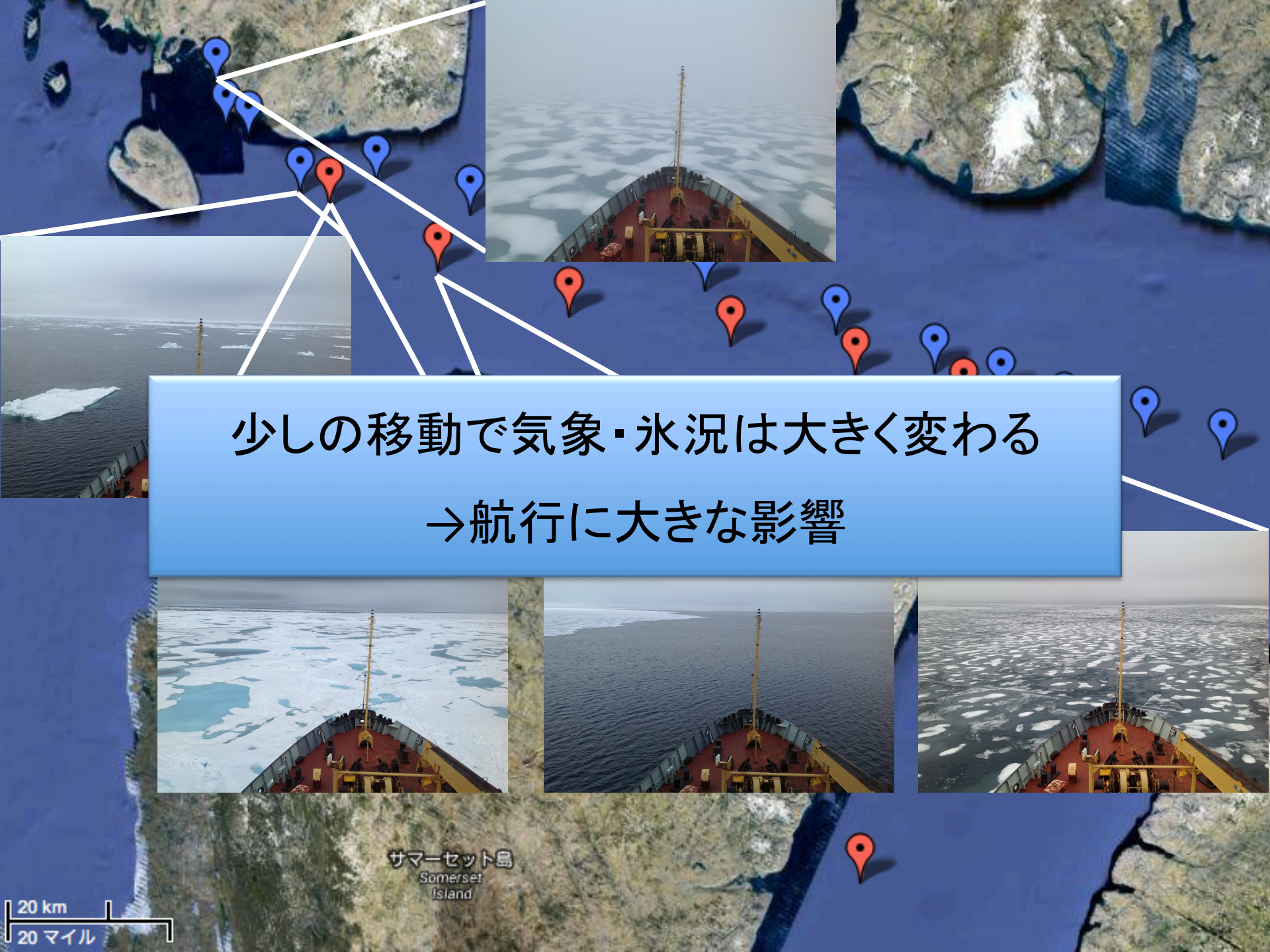
サマーセット島  
Somerset  
Island

20 km  
20 マイル



サマーセット島  
Somerset  
Island

20 km  
20 マイル



少しの移動で気象・氷況は大きく変わる

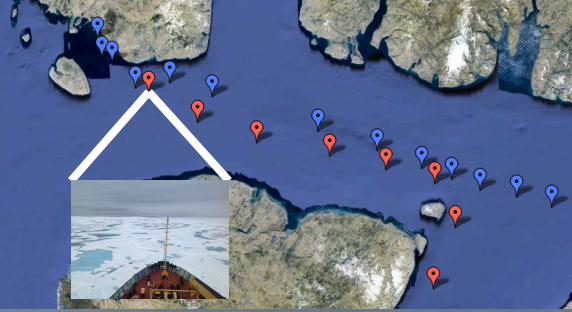
→航行に大きな影響

サマーセット島  
Somerset  
Island

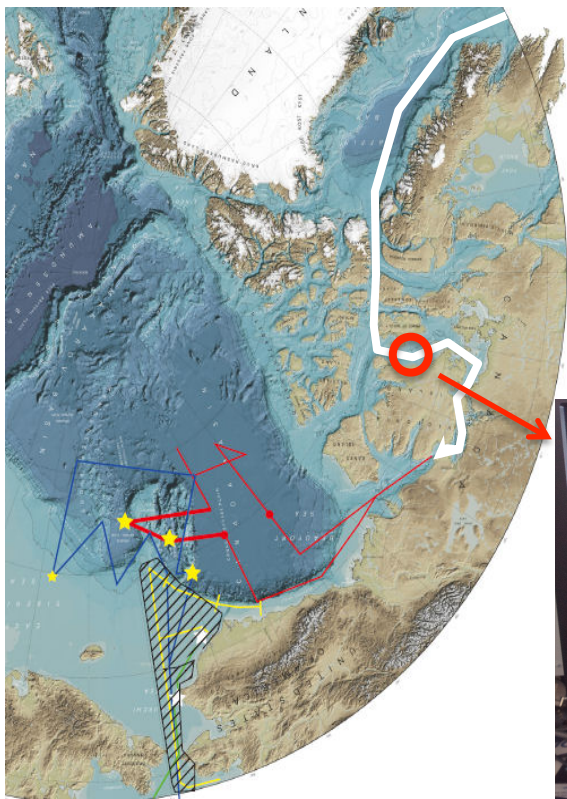
20 km  
20 マイル

# ラミング航行

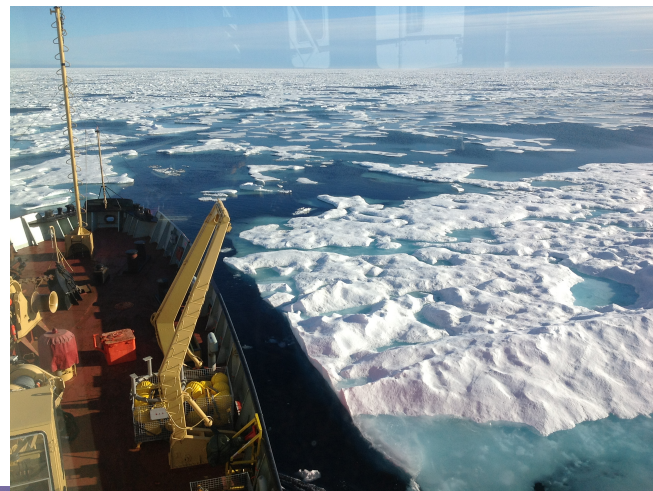
2013/7/27 0:10 (UTC)



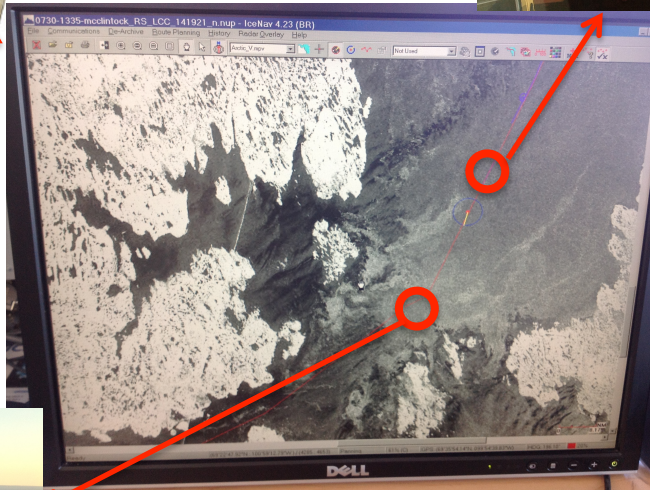
# 2012年7月～8月 カナダ砕氷船観測航海



Radarsat SAR画像



SAR画像でグレーに見えている所。  
一年氷。しかし、大きな氷盤やリッジが多く、航行には苦勞。



この様な情報は、ある瞬間の衛星観測や数値計算では得られない。氷の履歴と照らし合わせた解析が必要。

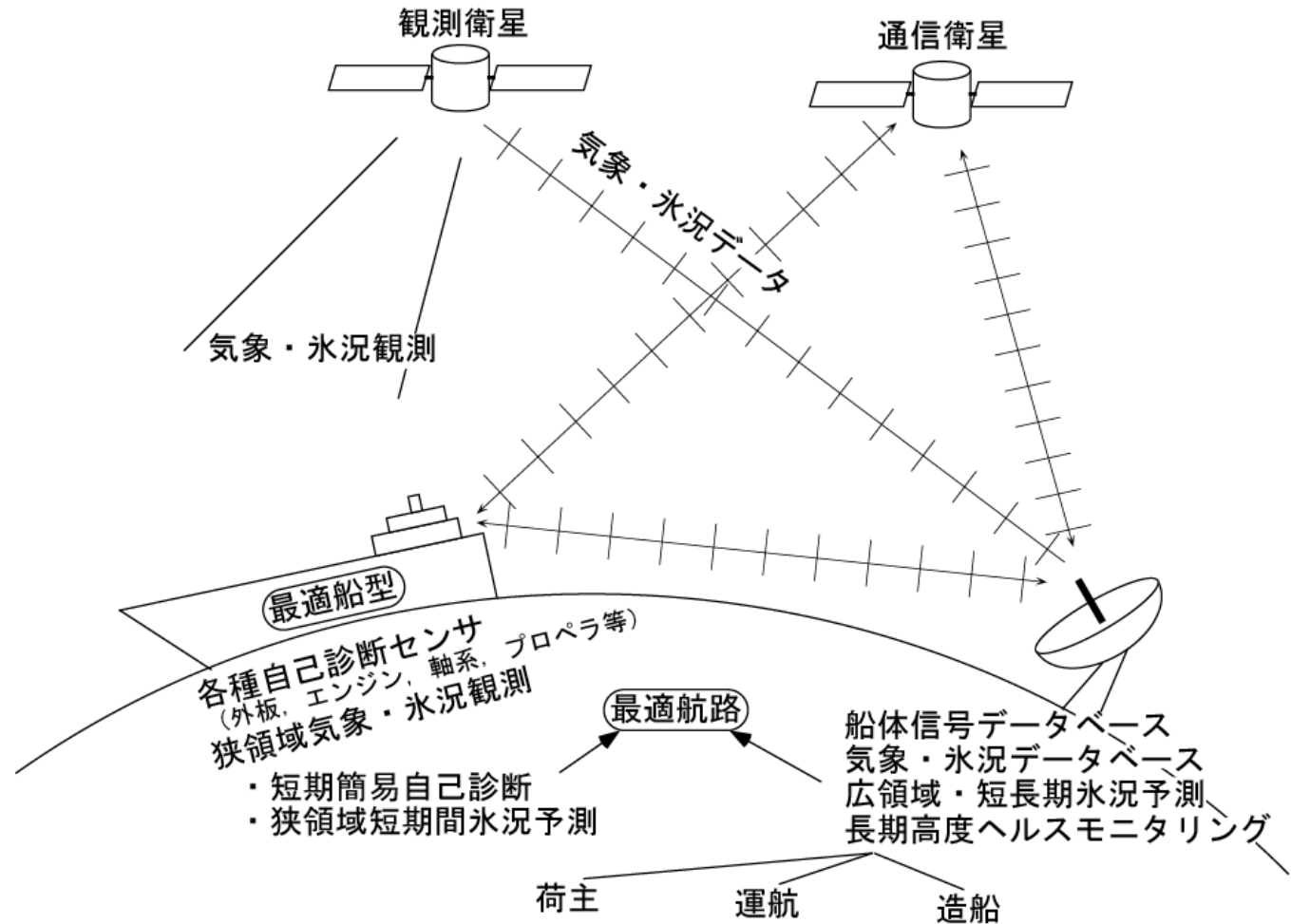
現場観測データの充実

SAR画像では白っぽく見えている所。  
多年氷。しかし、氷盤が小さく丸っぽいので、航行容易。





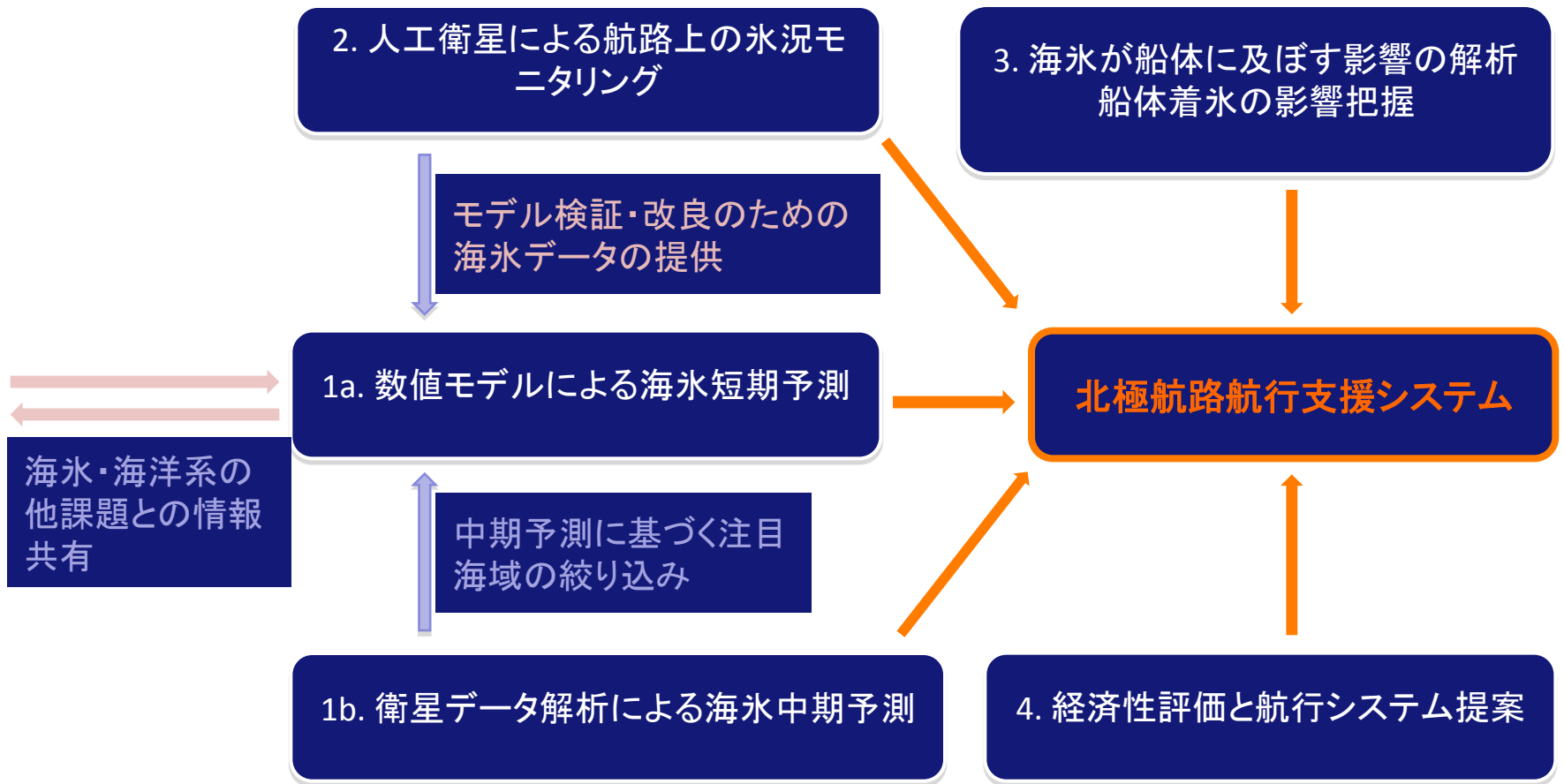
# 安全かつ効率的な氷海航行



氷海航行を、昔の様な「冒険」には、もうしない。  
この中で、氷況予測は重要な位置を占める。

「安全」を絶対忘れるな！  
敵を知り、己を知れば百戦危うからず。

# 北極航路航行支援システム



# 航行支援システム構築に向けて

- 海氷状況はシャープに変化する
  - 特に氷縁付近では急な氷況変化・気象変化が起こる
  - 瞬間を切り取った衛星画像等では読み取れない情報がある
- 支援システムとなるツールと、そこに使われるデータの双方が良くなっていく必要がある
  - 得られた予測の確率的な信頼度に合わせたルート設定
  - 履歴等を含めたより深い海氷データの解析
  - 現場観測データの充実

ご清聴ありがとうございました

