

# 実海域船舶性能データのVisual Mining Studioを用いたマイニング

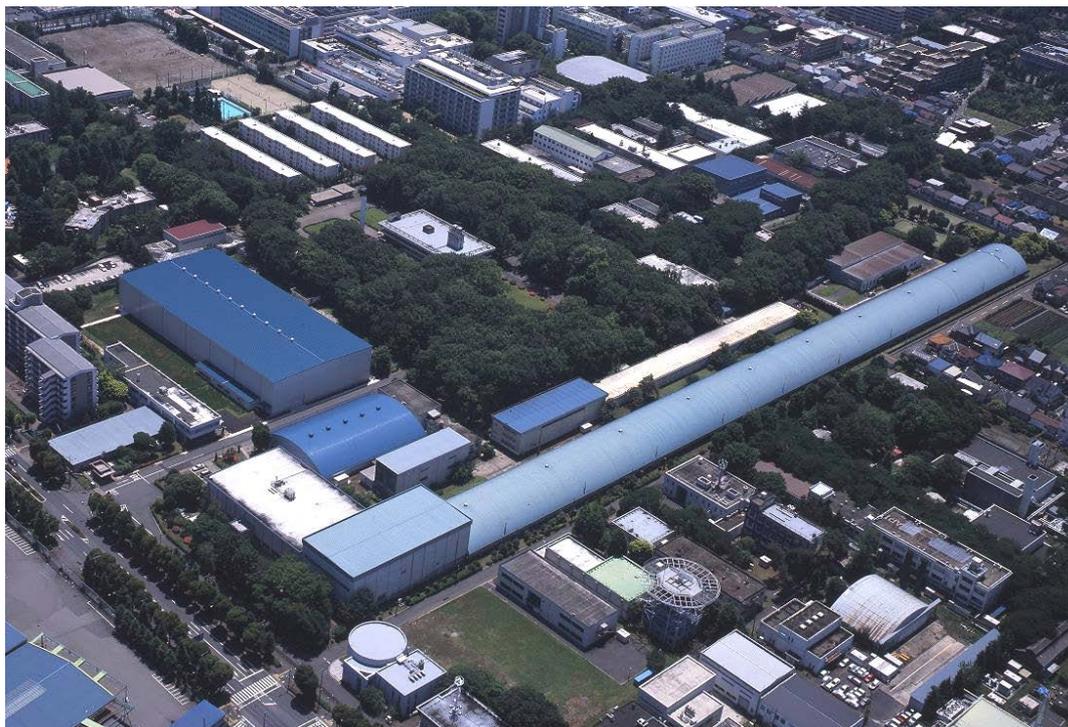
(独) 海上技術安全研究所 加納敏幸  
佐藤圭二

# 発表のながれ

1. 海上技術安全研究所の紹介
2. 運航計画技術研究センターの研究
3. 船舶の運航データの活用
4. VMSを用いた実海域船舶性能分析

# 海上技術安全研究所

－研究所の活動について－



**独立行政法人 海上技術安全研究所**

## 基本理念

- **安全安心な社会の実現へ貢献**
- **環境と調和した社会の実現に貢献**
- **海事産業の競争力強化に貢献**
- **未来を拓く技術の創造に貢献**

## 行動規範

- **お客様の立場で**
- **社会動向を把握し、機動的に課題解決に取り組む**
- **自らを変革し新たな可能性に挑戦**
- **健全な成果意識**
- **目標意識を明確にし、創造力を発揮**

# 運航計画技術研究センター

## 船舶運航の効率化

### ◆社会的側面

省エネ運航の意識の高まり

- ①燃料油の高騰
- ②環境負荷の低減

### ◆制度的側面

1. 国際的な動向(外航船)

- ①EEDI
- ②EEOI
- ③SEEMP

2. 国内の動向(内航船)  
改正省エネ法

# 実海域船舶性能推定

- EEDI等の**運航効率化評価**
- 気象・海象の予測情報に基づく内航船の**航海支援システム**の研究開発を実施

## ◆技術的側面

- |               |           |          |
|---------------|-----------|----------|
| 1. センサー技術     | レーダー式波浪計測 | AIS・GPS等 |
| 2. IT技術の飛躍的向上 | データ処理量の増大 |          |
| 3. 船陸間通信      | 海洋ブロードバンド |          |
| 4. 気象・海象の予測情報 | 海流予測情報    |          |

# 輸送効率改善

ハード技術的手法：船舶のハードウェア  
(船型改良、廃熱利用、推進システム改良)

**EEDI (Energy Efficiency Design Index)**

(エネルギー効率設計指標)

ソフト技術的手法：「運航のやり方」を改善  
(航海計画、減速運航)

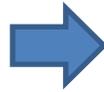
**EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator)**

(エネルギー効率運航指標)

ハードの開発も重要だが使い方も重要

# 船舶の運航性能評価

環境コスト  
社会に与える便益



(CO<sub>2</sub>排出量 g)

(輸送量 : 貨物量(ton) × 輸送距離(mile))

**EEDI** (g/ton/mile)  
(Energy Efficiency Design Index)

**EEOI**  
(Energy Efficiency Operational Indicator)

貨物量  
航行距離  
燃料消費量  
CO<sub>2</sub>排出量

DWT  
速力  
スペック上のSFC  
(燃料消費率) × 出力  
燃料消費量から換算

実際に運んだ貨物量  
実際に走った距離  
実際の燃料消費量  
燃料消費量から換算

CO<sub>2</sub>換算係数 × 燃料消費率 (g/kwh) × 機関出力 (kw)

DWT(ton) × 速力(mile/h)



車 A: 12 km/l



☆☆☆ 車 B: 30 km/l

ハードウェア (車、船) による。

CO<sub>2</sub>換算係数 × 燃料消費量 (g)

実質物量(ton) × 実航行距離(mile)



**EEDI**: 新造時のスペックに基づき、「その船舶が発揮できる効率のポテンシャル」を示す。  
**EEOI**: 「実際に達成された効率」を示す。

# 航海の最適化 (最適航路と最適船速)

荷主から「遅れない」要請



- 運航スケジュール確保
- 遅延時の責任回避



気象海象の不確実性

保守的な運航

船速：航海速力 (一定)

航路：最短航路 (一定)



船舶の沖待ち

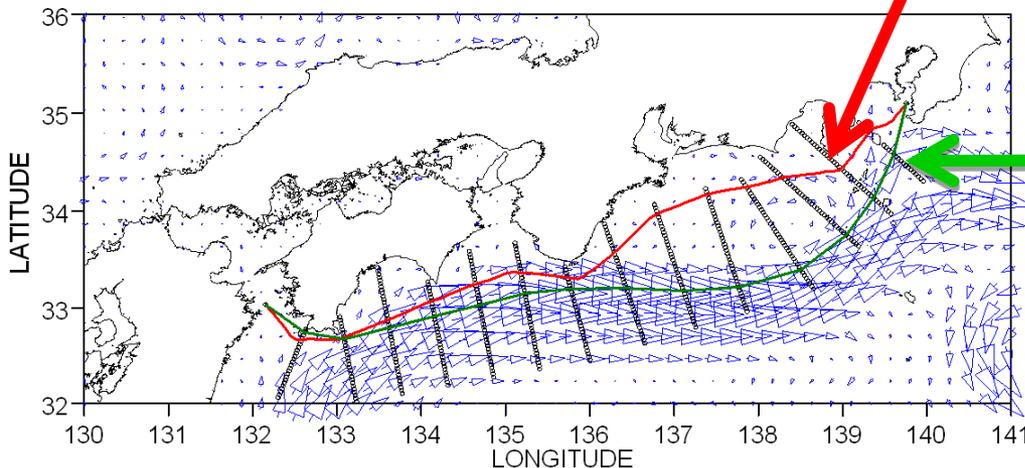


推薦航路 (距離は伸びる) を採用しても、定時性を維持する航海計画

気象・海象予測情報

6111000 6111000 OCEAN CURRENT

0.5knot 1.0knot 1.5knot 2.0knot

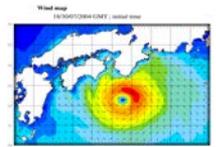


最適航海計画

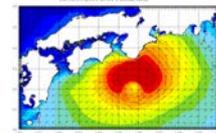
- 最適航路
- 最適船速

定時運航  
スケジュール確保

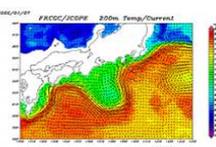
燃料消費量の削減



風推算



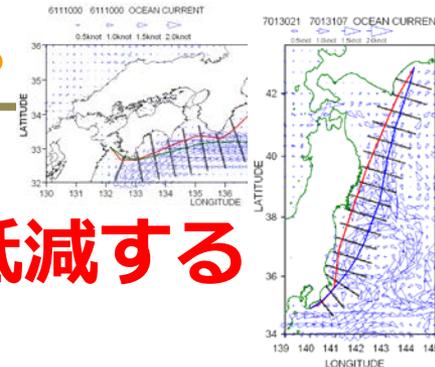
波浪推算



黒潮流路予測

# 航海計画支援システム

気象・海象を精度良く予測、実海域での船舶推進性能を推定し、これらの情報に基づき最適な航海計画（航路計画と定時性維持航海計画）を立案するシステムを開発することにより省エネを図る。



**目標** 運航計画で**15%の燃料消費量を低減する**

① **航路計画** 風・波・海流情報から船舶の航行に有利な条件の航路を選定

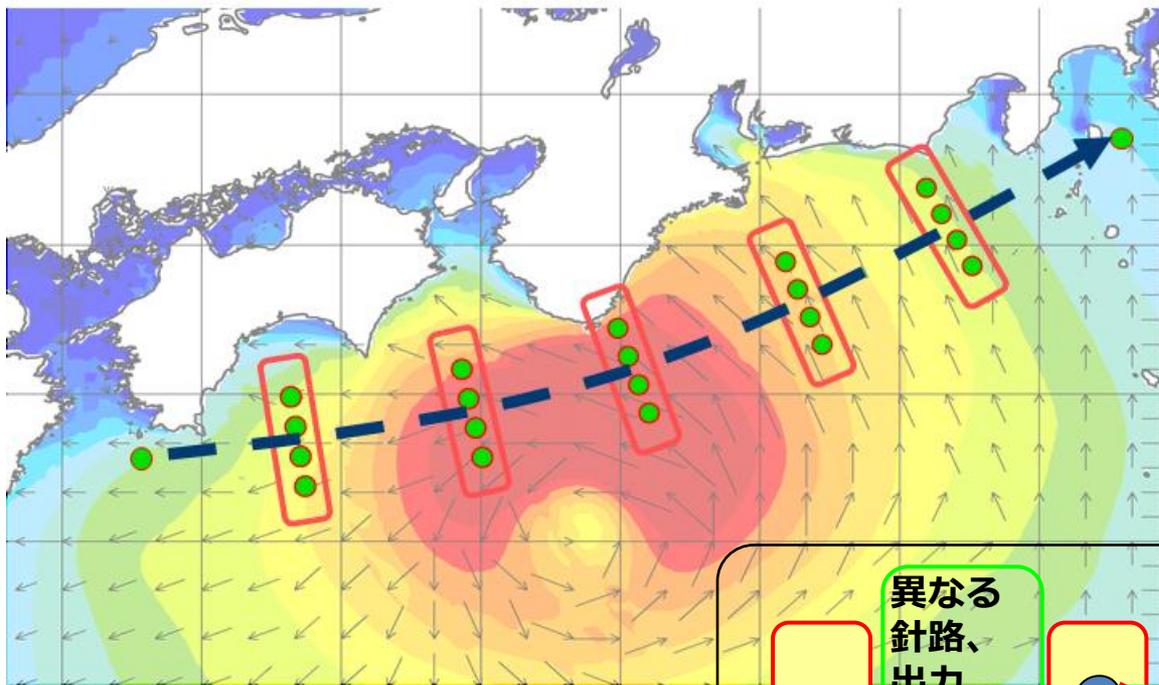
最適な航路を採用することで、通常使用している航路に比べ燃料の節約ができる

② **船速計画** 気象予測誤差を考慮に入れた速力計画を立て、**定時運航**

不定期船：沖待ち時間を航海時間に還元し、**減速運航**を行い燃料節約  
 定期船：入港信号に合わせた航海計画で運航（**定時性が最重要**）



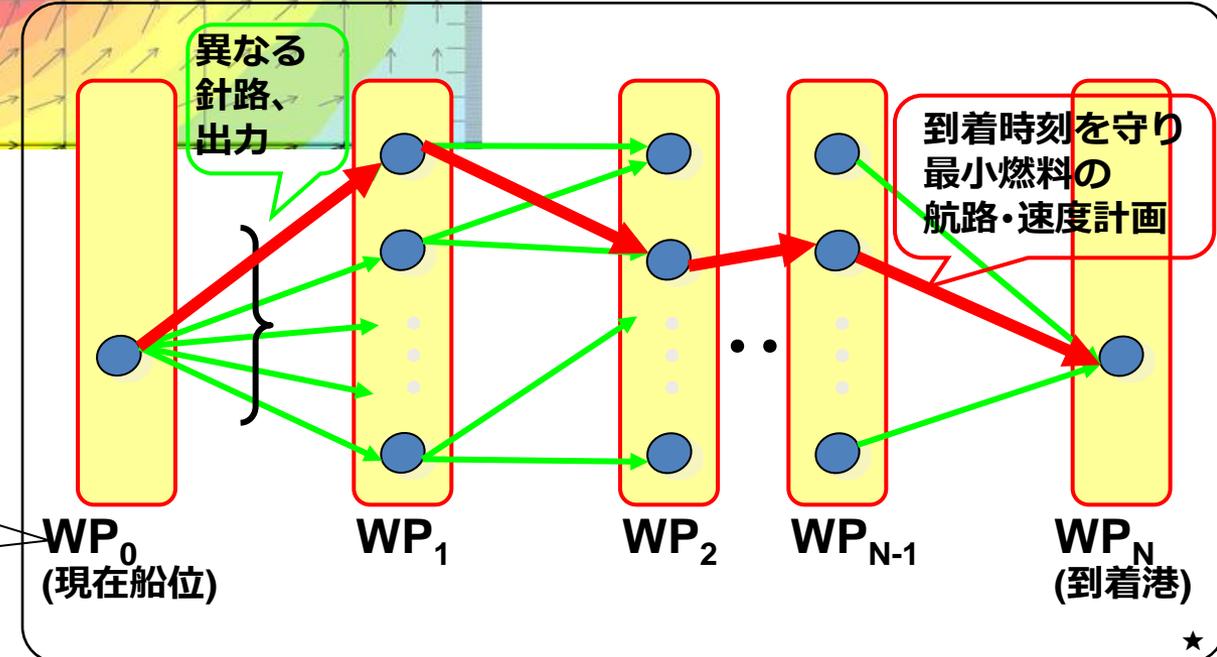
# 航海計画の立案



必要な技術:

1. 気象・海象の予測  
予測誤差の同定
  2. 実海域中運航性能の推定
- ↓
3. 最適航海計画作成アルゴリズム
  4. 最適航海計画案

気象海象と  
運航性能との関係  
↓  
数理計画法を使った  
省エネ航海計画の作成



# 航海支援

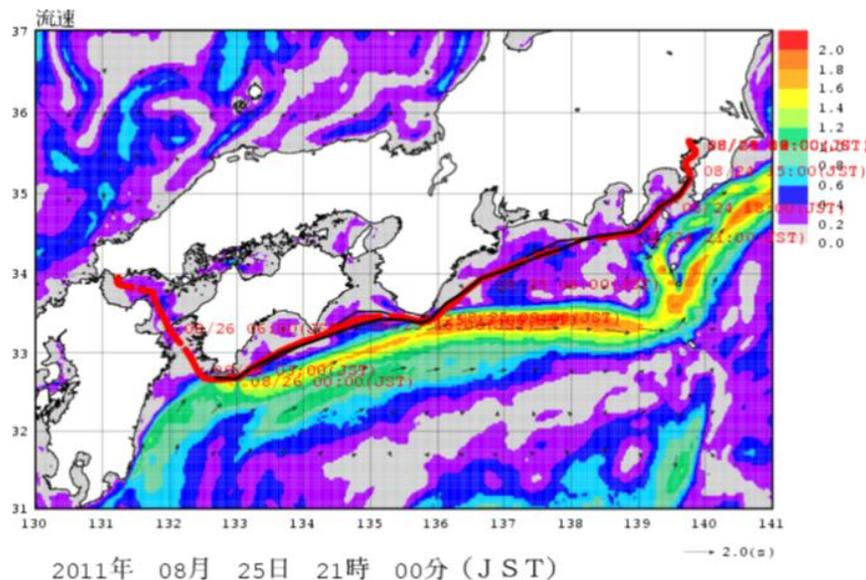
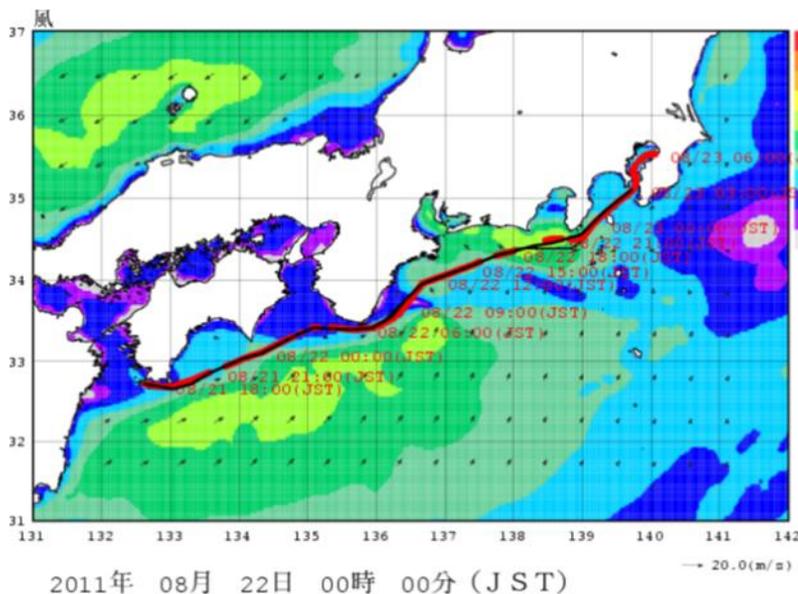
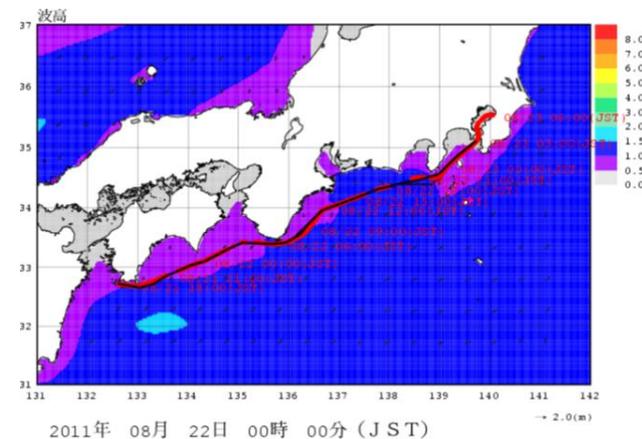
## 宇部-東京

### JWA算定

興山丸	
第 30 航海	宇部→東京
出発日時 (JST)	2011 年 8 月 21 日 17:13
到着日時 (JST)	2011 年 8 月 23 日 02:54
航程 (NM)	397.7

FOC	常用航路(kWh)	推奨航路(kWh)
	82,596	79,480
	FOC 削減率(%)※	
推奨航路	3.8	

※对常用航路のシミュレーション値



# 気象・海象予測情報に基づいた省エネ航海計画支援

## 実証実験対象船舶

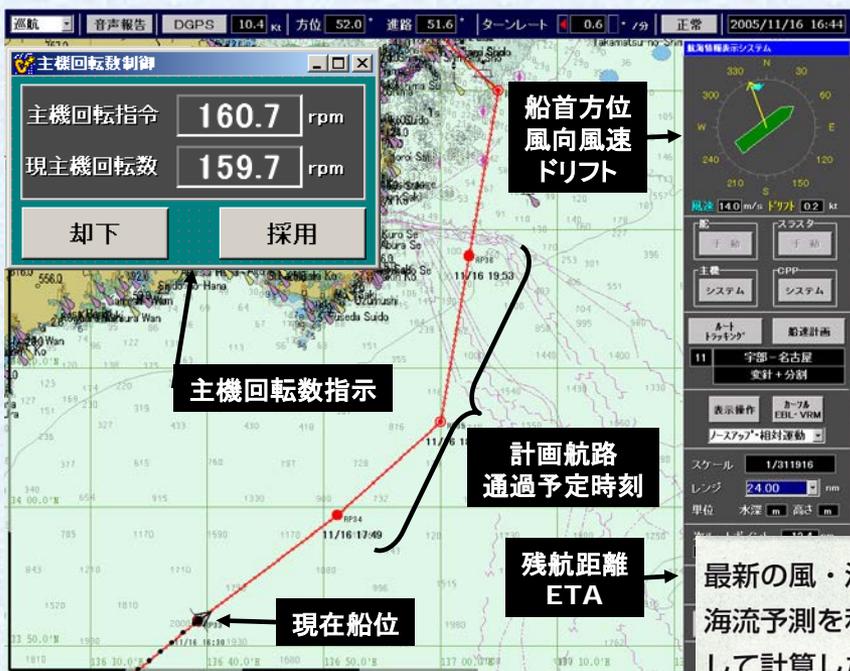


RORO船 (Shanghai Super Express)



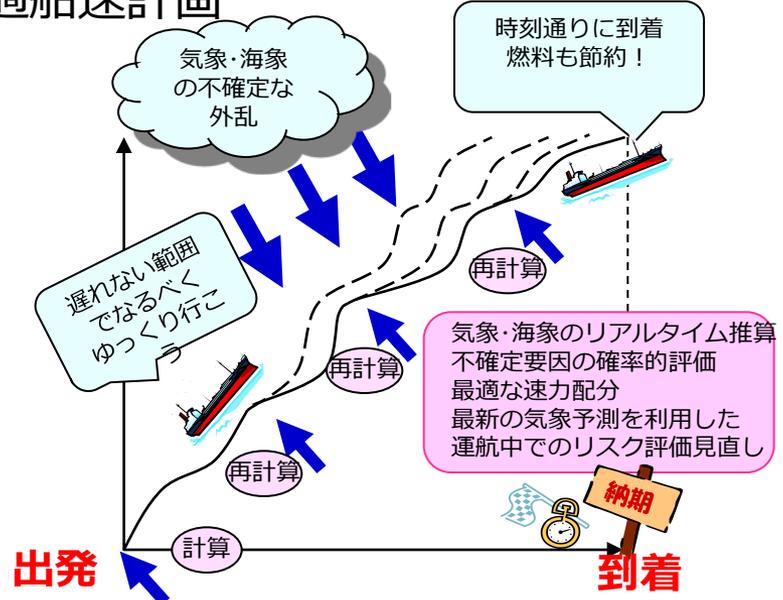
ROROコンテナ船「ひまわり1」

## 船上最適航路表示システム

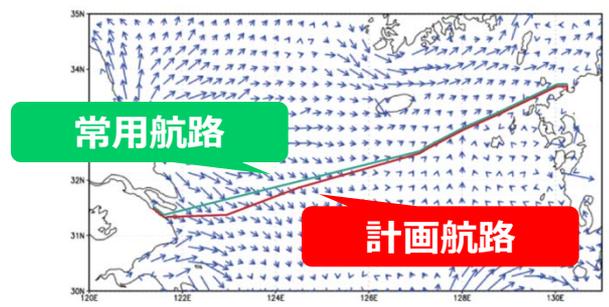


NEDOのエネルギー使用合理化技術戦略的開発先進交通社会確立技術の先導研究として実施

## ■ 最適船速計画



## ■ 最適航路計画



最新の風・波・海流予測を利用して計算した最適航路計画で

4~5%の省エネ効果

最適船速計画により定時性を維持可能なため 沖待ち時間を利用して

20%以上の省エネ効果

# 実海域船舶性能推定

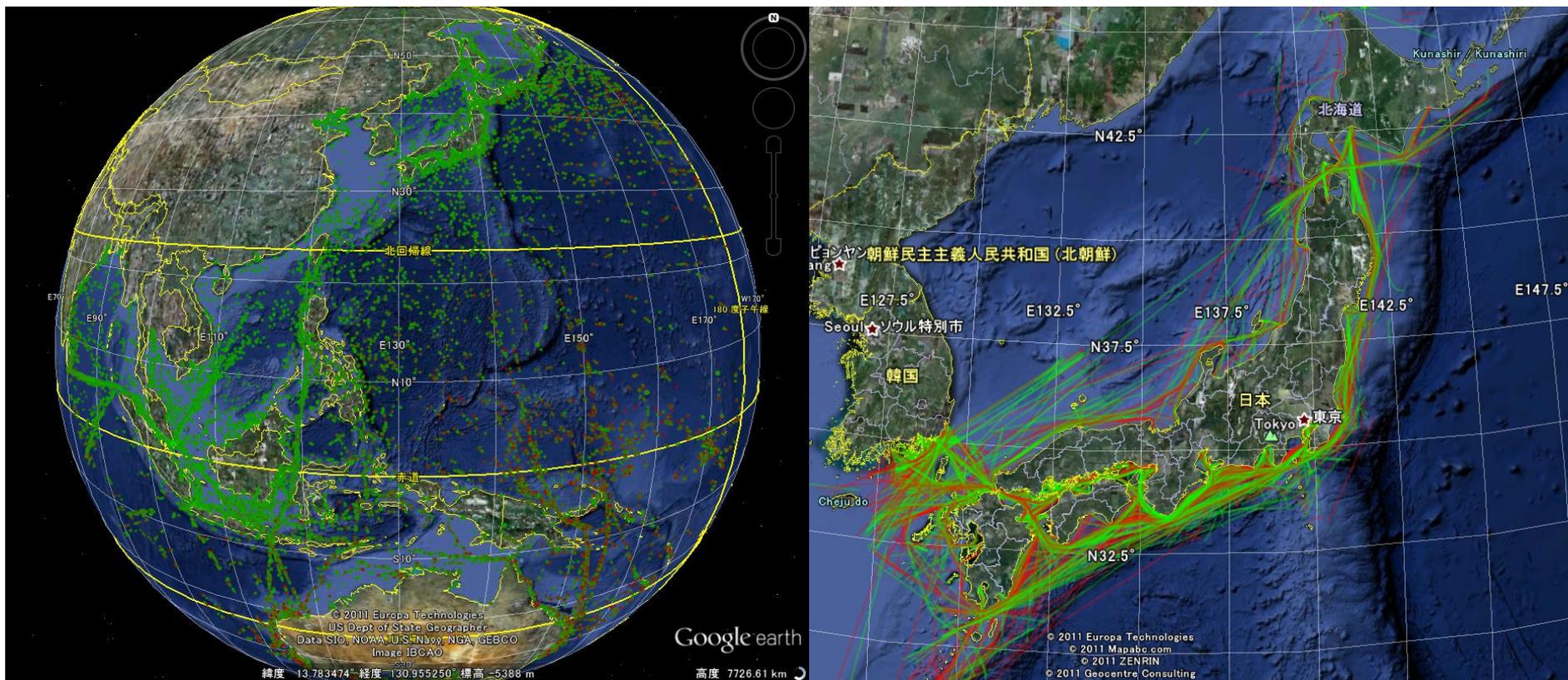
- EEDI等の**運航効率化評価**
- 気象・海象の予測情報に基づく内航船の**航海支援システム**の研究開発を実施

- 船舶の運航データには有益な情報が含まれており、性能評価や運航支援に大いに役にたてることができる。
- 特に近年の情報通信技術やデータ解析技術の発達とともにその可能性が増大している。
- ここでは、省エネと安全を目指した運航支援の視点から運航データ入手し実海域船舶性能を推定する取り組みを紹介。

# 船舶の運航データの利・活用

		目的	データ項目	利用者
運航	I	動静管理	位置, 時刻 【AIS・GPS・INMARSAT(ポーリング)】	荷主 運航会社, 船社
	II	運航管理 ・エネルギー効率 ・運航分析	①航海距離, ②輸送距離, ③燃費 時間<1航海毎> 【航海・機関ログブック】	荷主 運航会社 船社
	III	航海管理 ・エネルギー効率 ・航海分析	①燃料/馬力, ②船速, ③外力 <排水量/トリム> 【機関dataロガー・Log船速・GPS/AIS】	運航会社 船社
船舶性能	IV	船舶性能評価 ・船舶性能解析	①馬力, ②船速, ③外力 【機関dataロガー・Log船速・GPS/AIS 風・波浪・海潮流観測情報】	船社 造船所
	V	航海支援	①燃料/馬力, ②船速, ③外力 <排水量/トリム> 【機関dataロガー・Log船速・GPS/AIS 風・波浪・海潮流予測情報】	船舶 船社・運航会社

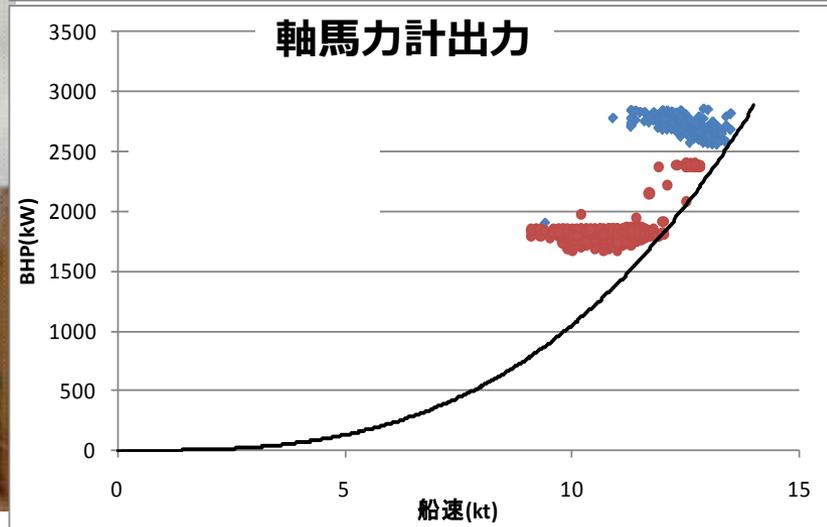
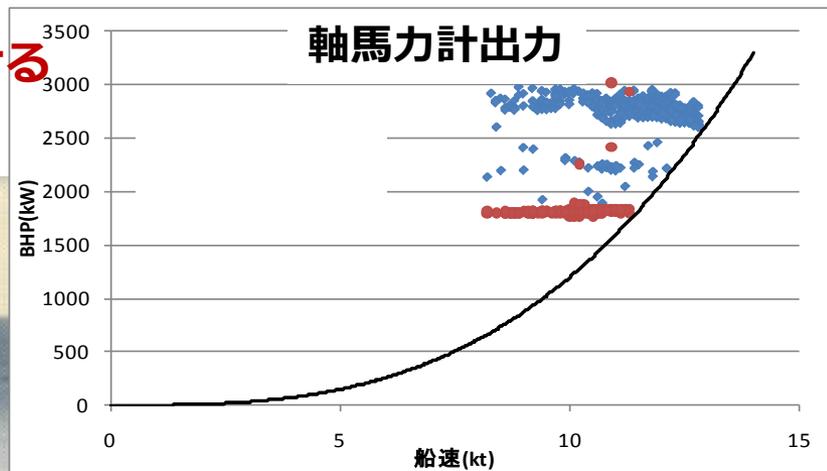
# AIS情報



位置、速力、針路情報を入手

# 船舶の計測事例

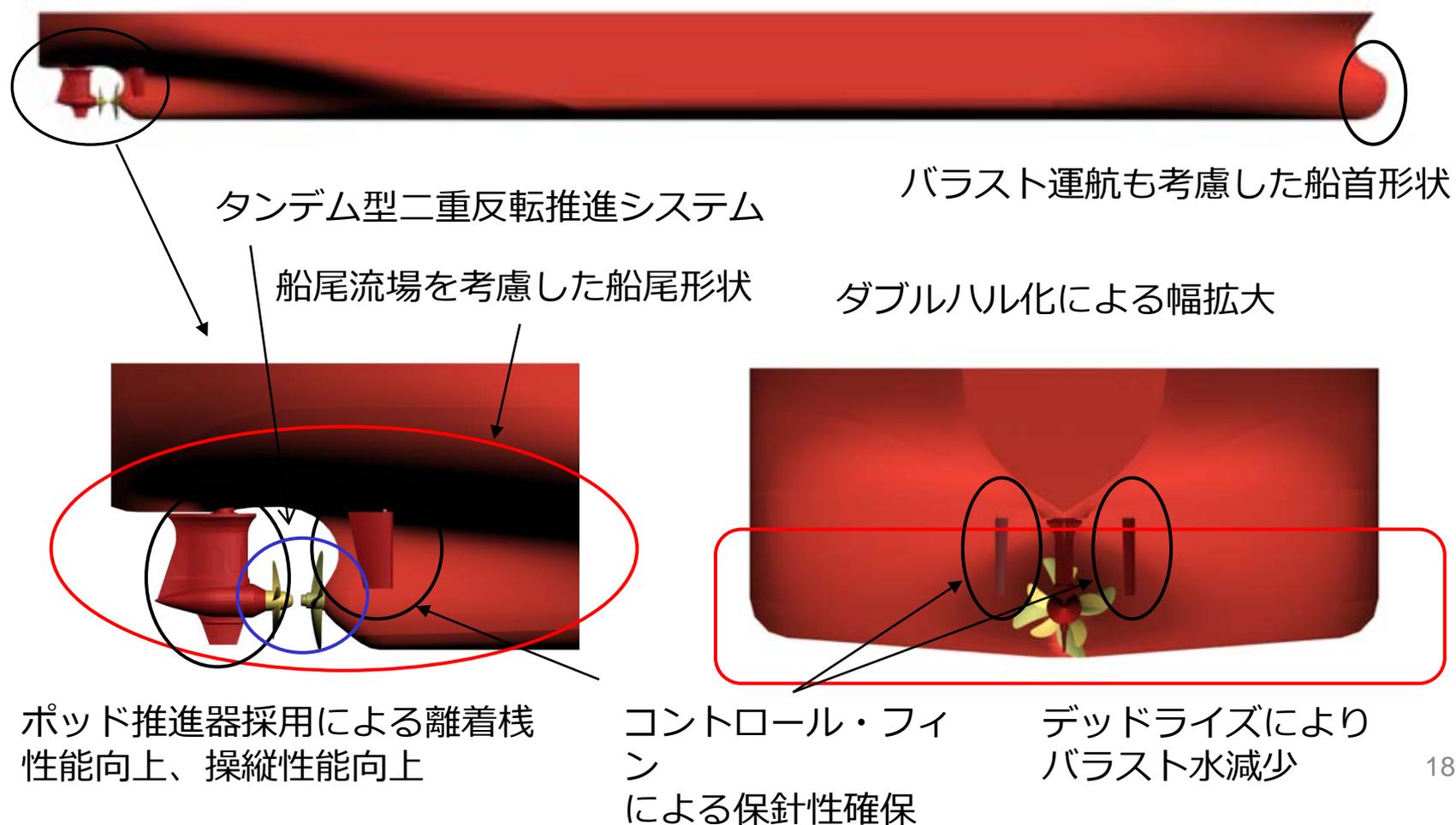
同じ機関馬力でも速力は外力の影響を大きく受ける



# スーパーエコシップ セメント船「興山丸」

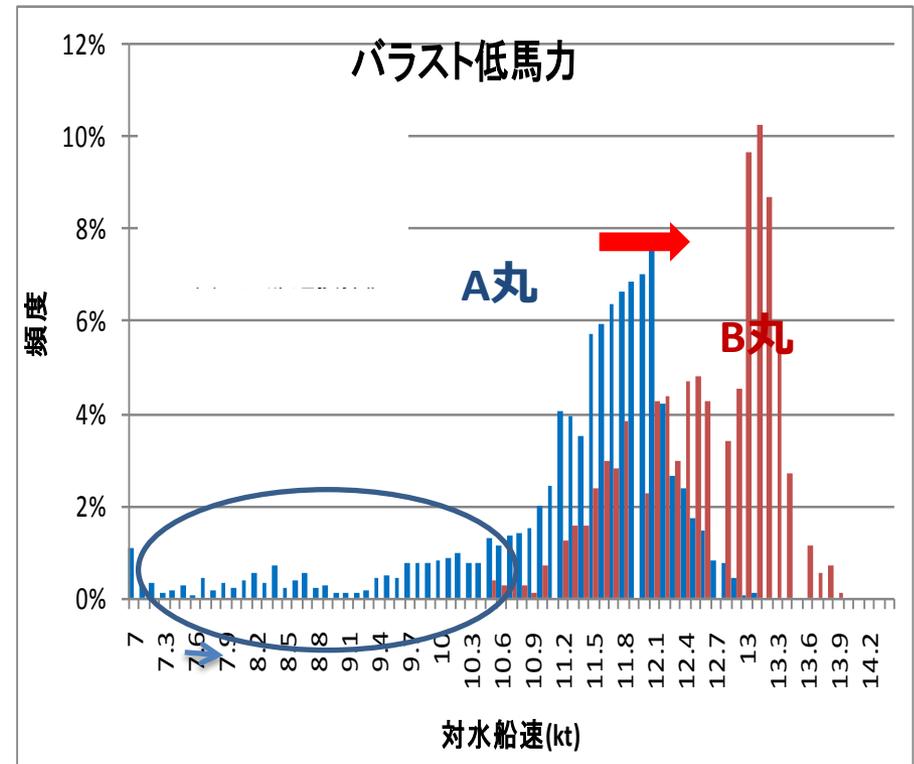
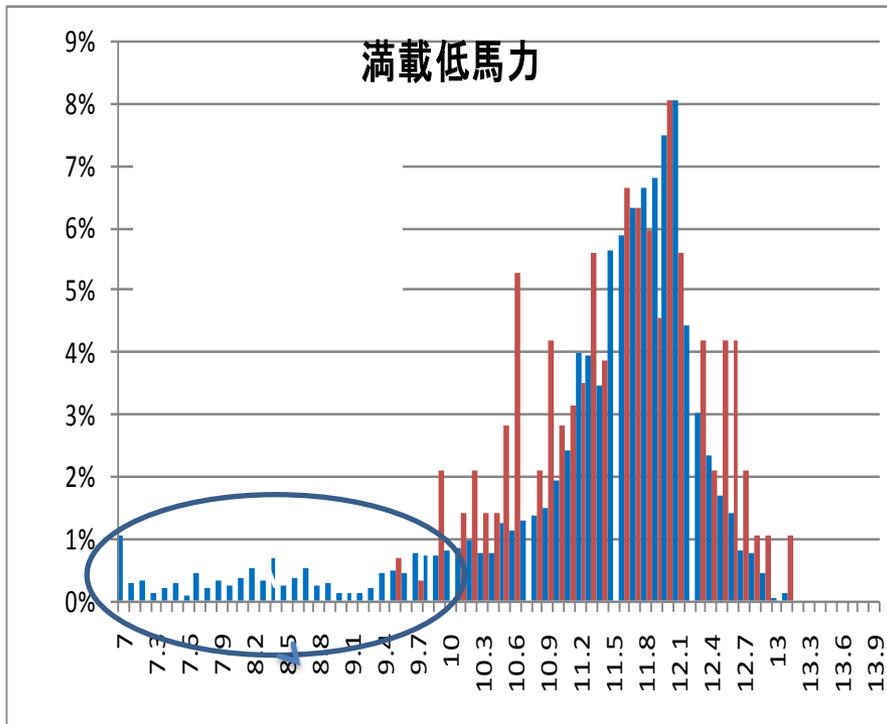
## 船主要望

- 1番 省エネ船
  - 経済性、
  - 2番 離着棧性能
  - 運航性能
- 3番 針路安定性能
  - 安全性



# Verifivcation (評価)

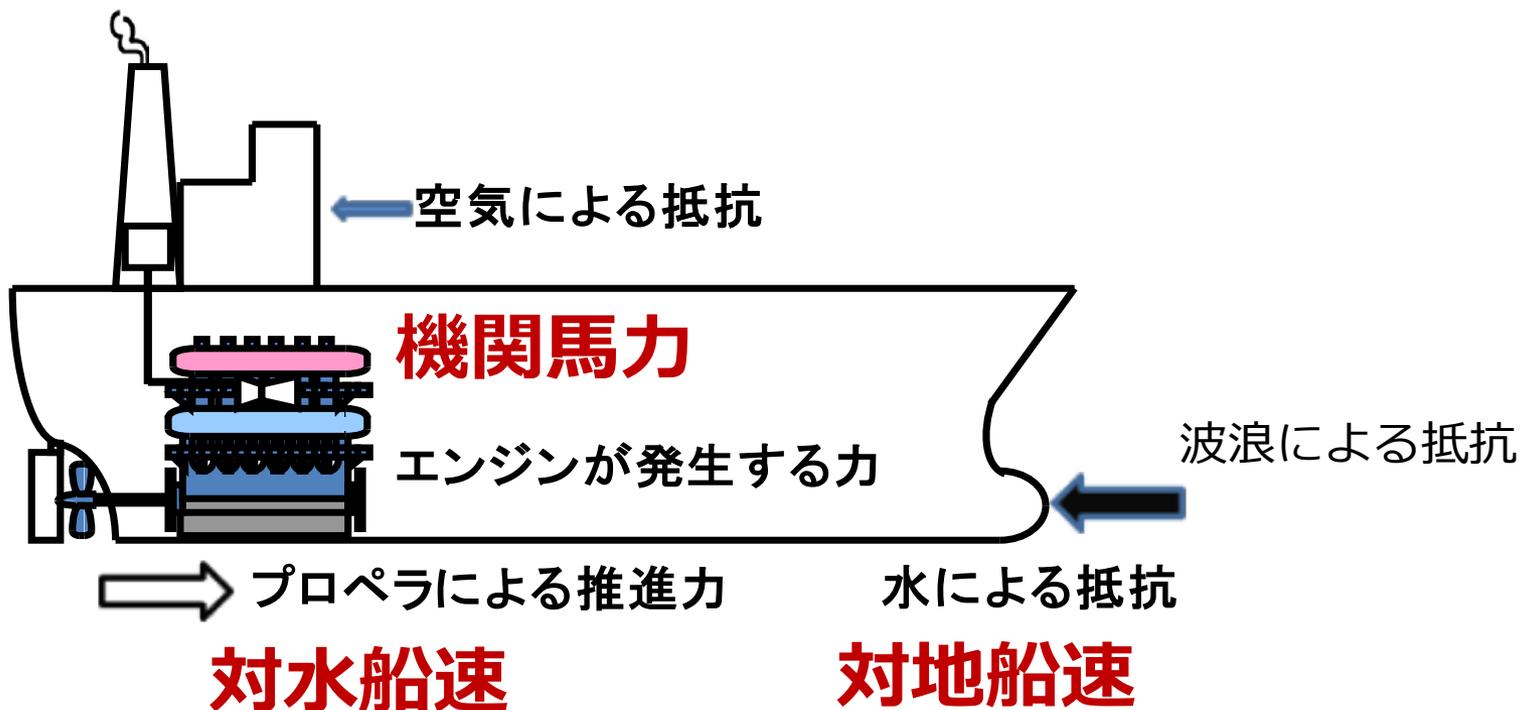
計測データから、既存船舶の性能比較ができる



A丸は、B丸に比較し気象・海象の影響を受け大幅に減速する場合がある。⇒ 遅延リスク大同一航路3か月間のデータによる

# モニタリング基本データ

1. **投入エネルギー（燃料）** ⇒ 機関馬力 ⇒ 推進器 ⇒ 推進力
2. 水抵抗（平水中と波浪） + 空気抵抗（風等） 等 ⇒ 船舶に働く抵抗
3. 推進力 - 抵抗 ⇒ **減速** ⇒ **対水船速** + 海潮流 ⇒ **対地船速**



# 計測 (Measurement)

## モニタリングの基本データ

船位  
時刻

GPS

AIS

投入エネルギー

燃料消費量  
機関出力

機関データ  
ロガー

燃料油流量  
計

効果

対水船速  
対地船速

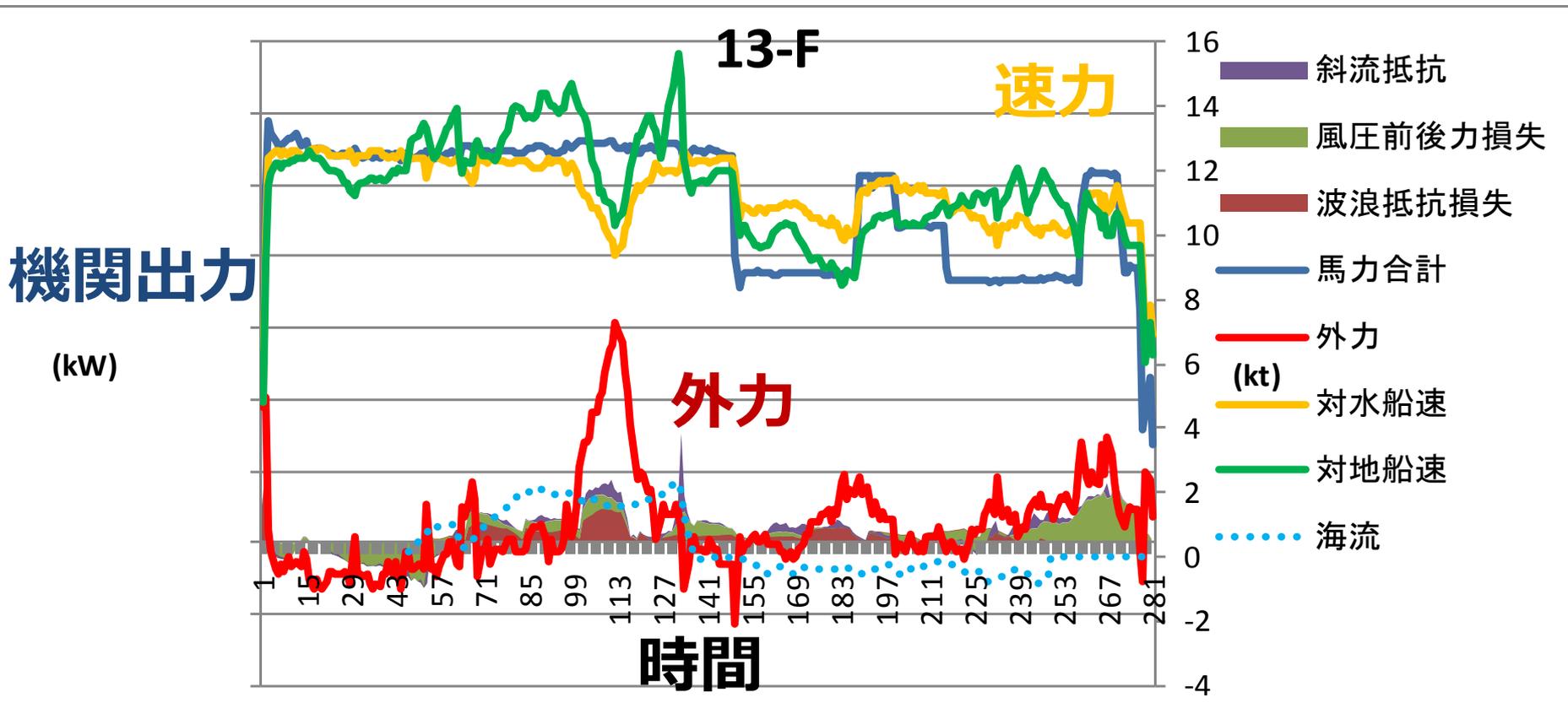
Log船速計

GPS

# 計測 (Measurement)

第13次航 (2010/12/14~2010/12/20)  
航路：宇部 - 東京

## 宇部 - 東京



# 計測 (Measurement)

東京 - 宇部

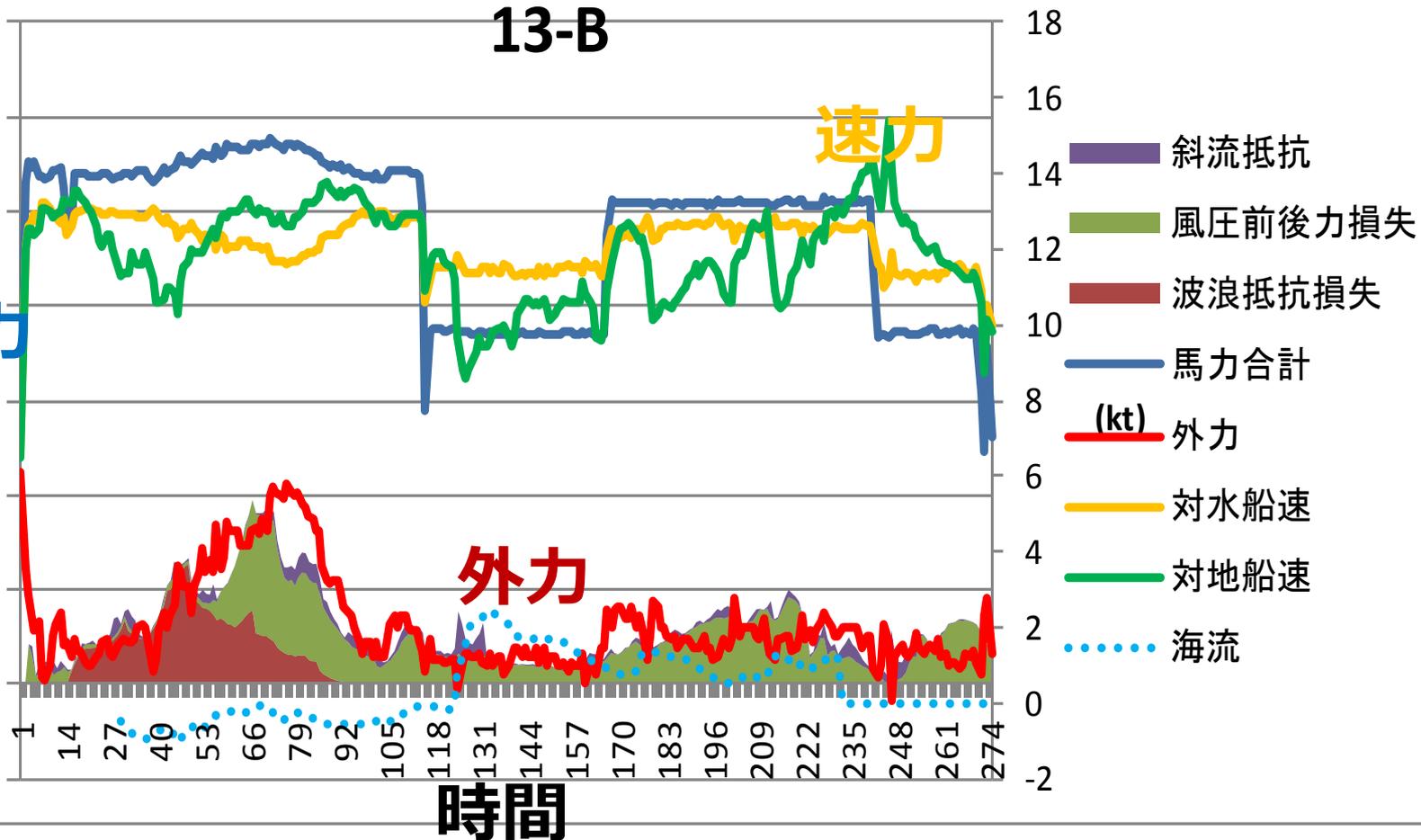
第 13 次航 (2010/12/14~2010/12/20)  
航路：宇部 - 東京

13-B

速力

機関出力

(kW)





# 運航情報Verification (評価)

計測データから、現状の船舶の性能評価  
と運航の評価ができる  
顧客にCFPなどの情報も提供可能

## ii 運航エネルギー効率

### i 推進エネルギー効率

1. エネルギー効率船舶指標		
計画時の輸送推進効率		
$\frac{\text{(推進に要するCO2排出量g)}}{\text{(輸送量：貨物量(ton) × 航行距離(mile))}}$		= <input type="text"/> g/ton·mile
燃料消費量(満載)	35,510	kg
IMOの換算係数 ※	3.1144	(t-CO2/t-Fuel)
CO2排出量：燃料消費量から換算	110.59	ton
貨物量	<input type="text"/>	ton
輸送距離	544	mile
計画船速	13.0	kt

※輸送距離は内航距離表より

(2) 航海結果	モニタリング結果		
① 載荷時			
1) 輸送推進エネルギー効率			
$\frac{\text{(推進に要するCO2排出量g)}}{\text{(輸送量：貨物量(ton) × 航行距離(mile))}}$		=	<input type="text"/> (g-CO2/ton·mile)
2) 満載時の輸送推進燃費効率			
$\frac{\text{(推進に要する燃料消費量g)}}{\text{(輸送量：貨物量(ton) × 輸送距離(mile))}}$		=	<input type="text"/> (g-Fuel/ton·mile)
② 載荷+空船 (往復)			
1) 船社(往復)			
$\frac{\text{(燃料消費量g)}}{\text{(輸送量：貨物量(ton) × 航行距離(mile))}}$		=	<input type="text"/> (g-Fuel/ton·mile)
$\frac{\text{(燃料消費量g)}}{\text{(輸送量：貨物量(ton) × 載貨航行距離(mile))}}$		=	<input type="text"/> (g-Fuel/ton·mile)
2) 船速考慮係数(往復)			
$(W_a/W_o) 2/3$	×	$(V_a/V_o) 2$	= <input type="text"/>
※ $V_a$ は (輸送距離_満載+輸送距離_空船) / (航行時間(満載)+航行時間(空船)) ※ $V_o$ は計画船速とする			

# Verification: 評価

## 改善

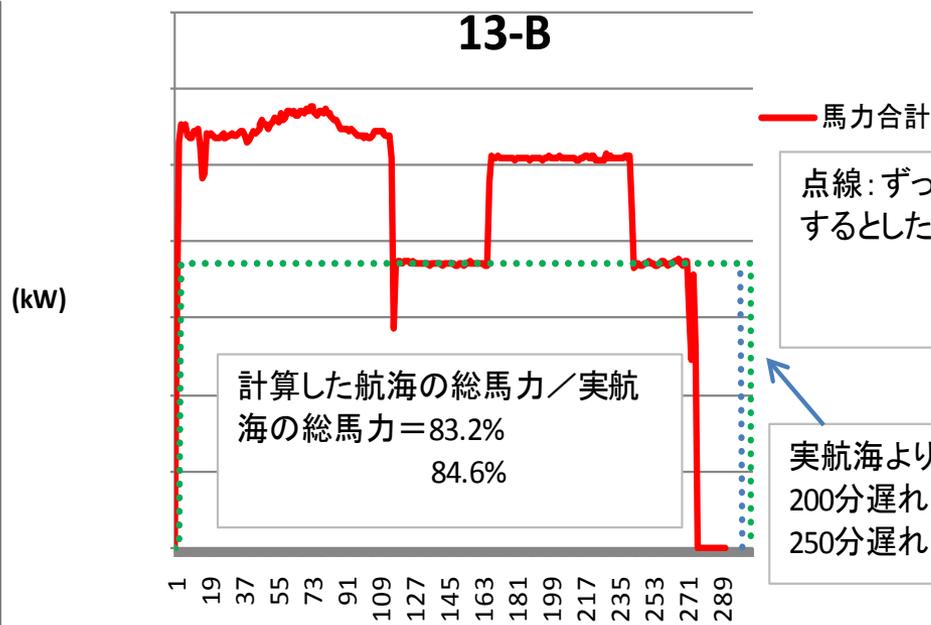
## 計測データから、改善点なども判明する

### 改善ポテンシャル

減速運航を実施すれば、到着時刻は4時間10分遅れるが、燃費節減が15.6%図れる。

なお、本航の場合には、荷役開始まで十分に余裕があった。

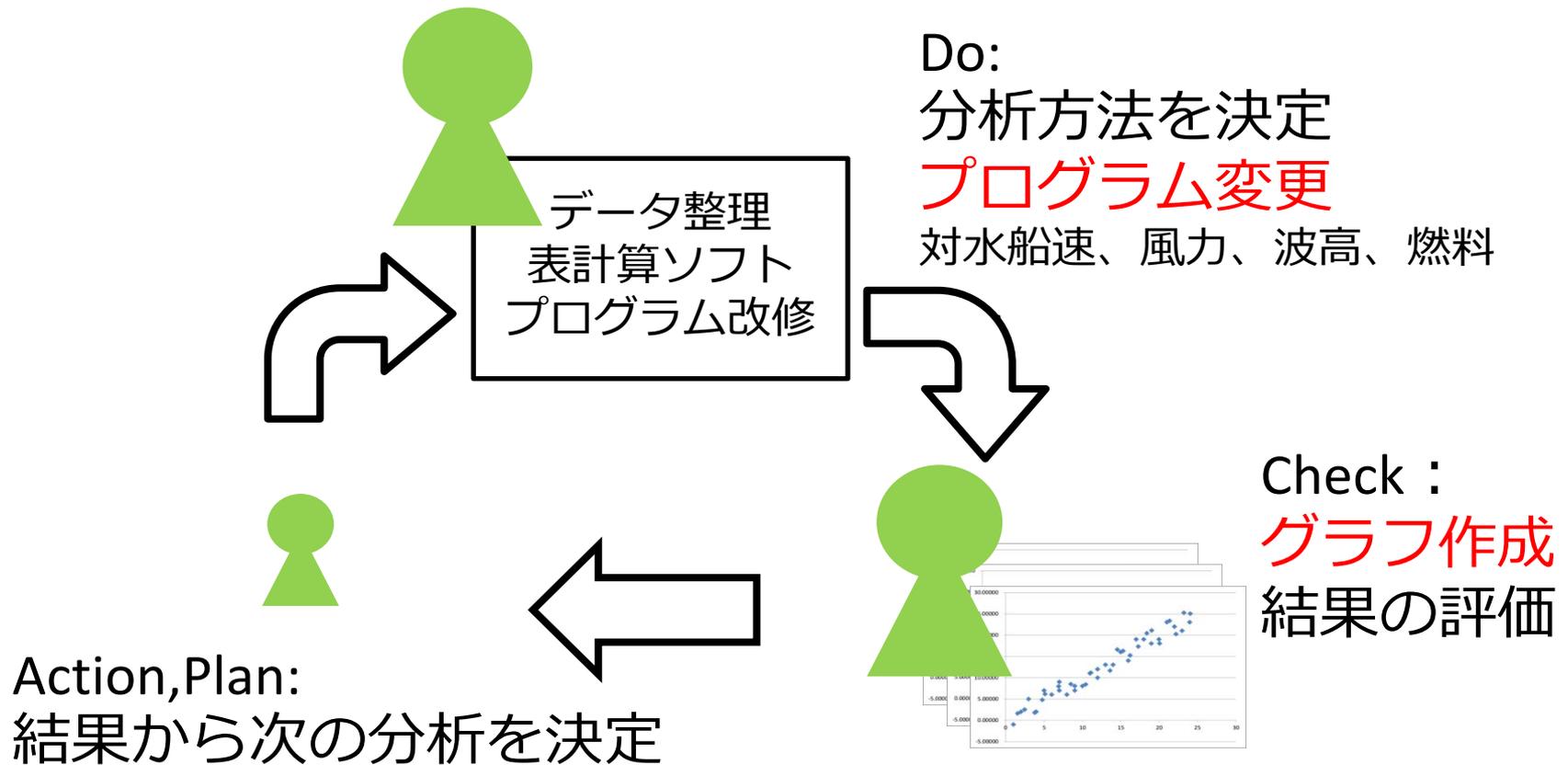
【復航】 馬力合計の時系列変化



船速（対水船速・対地船速）と、外力の時系列変化

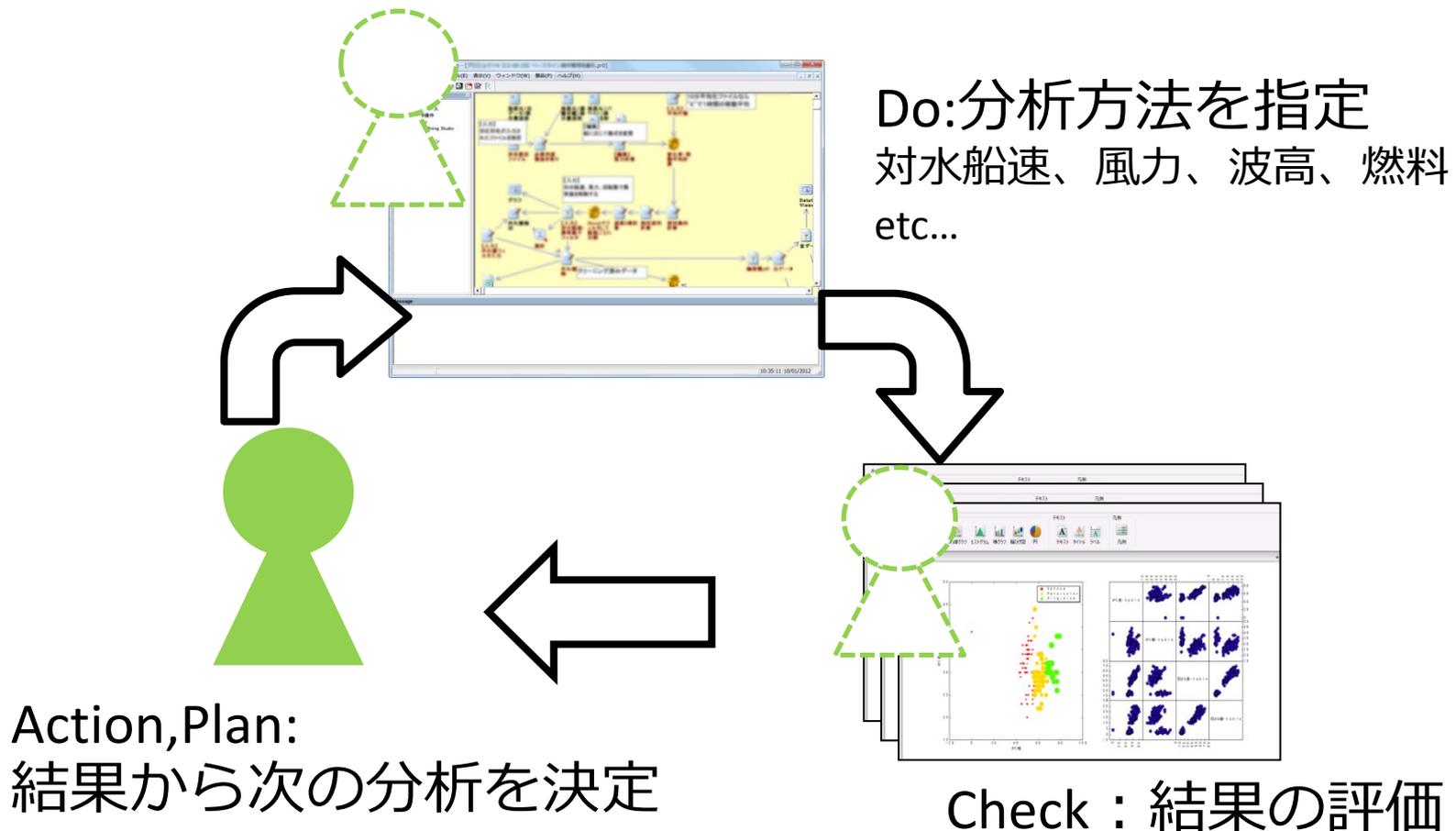
# VMSを用いた実海域船舶性能分析

## 分析結果作成までの労力・時間コスト削減



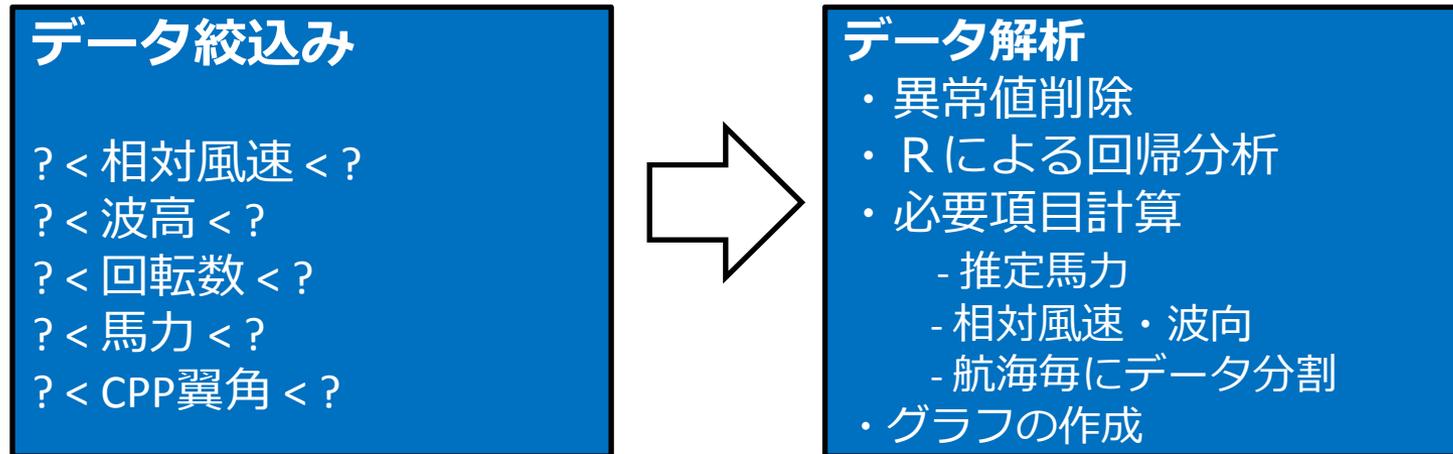
# VMS導入の目的

分析結果作成までの労力・時間コスト削減

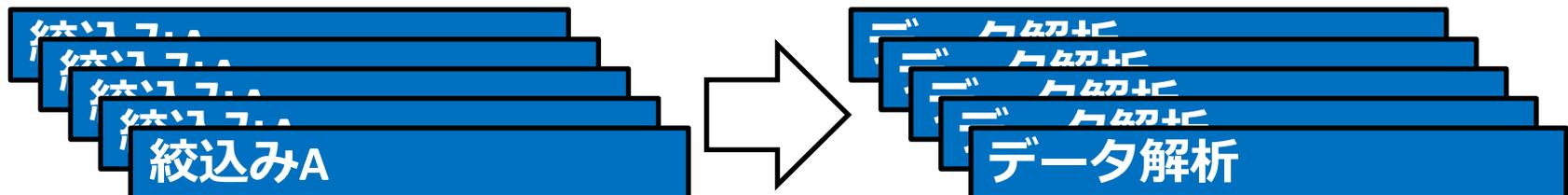


# VMSを利用した性能解析

1 ケース解析するために複雑なデータ解析が必要



結果を出すためにデータ解析毎回必要になる



# VMSを利用した性能解析

- データ解析のために複数の知識が必要
  - 高いExcelスキル
  - R・プログラムの知識
- VMSで簡単に解析できる仕組みを構築

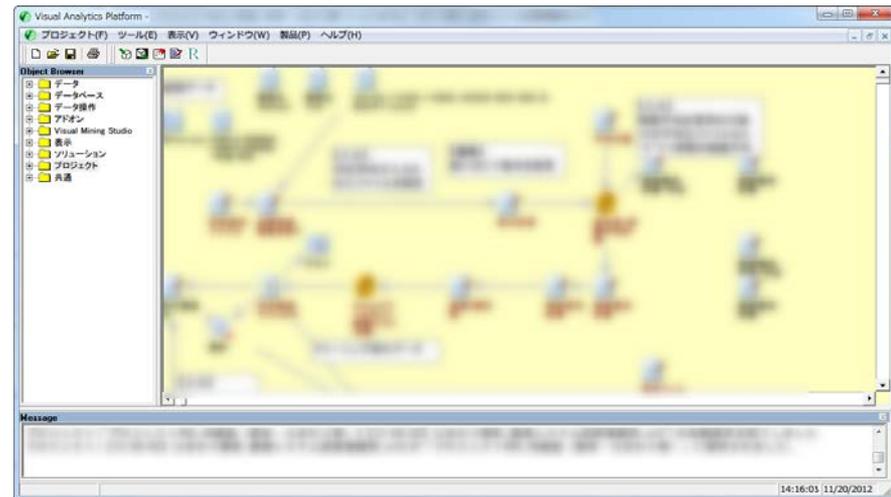
作業項目	Before	After
異常値削除	Excel	VMS
必要項目計算	Excel・プログラム	VMS
航海毎に分割	Excel・プログラム	VMS
解析データ絞込み	Excel	VMS
Rによる回帰	R script	VMS
グラフの作成	Excel	VMS

# VMSを利用した性能解析システム構築

- 事前にデータ解析部分を構築

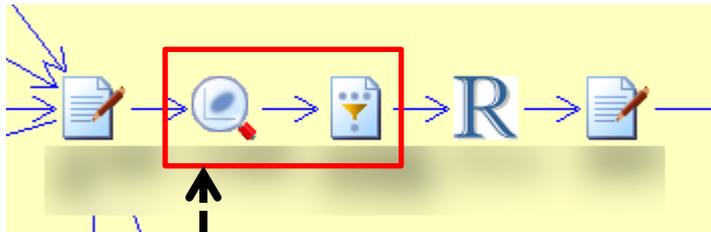
## データ解析

- 異常値削除
- Rによる回帰分析
- 必要項目計算
  - 推定馬力
  - 相対風速・波向
  - 航海毎にデータ分割
- グラフの作成

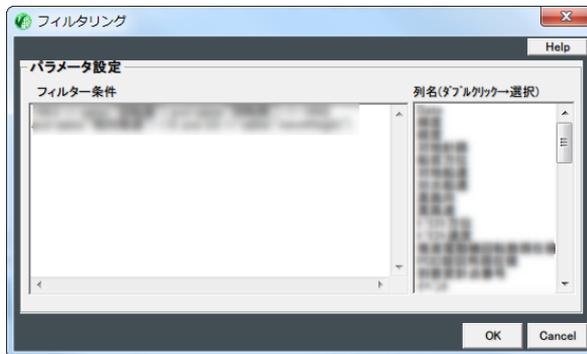


# VMSを利用した性能解析

- 分析は、データを絞り込むだけ



日付や、フィルタリング  
条件指定

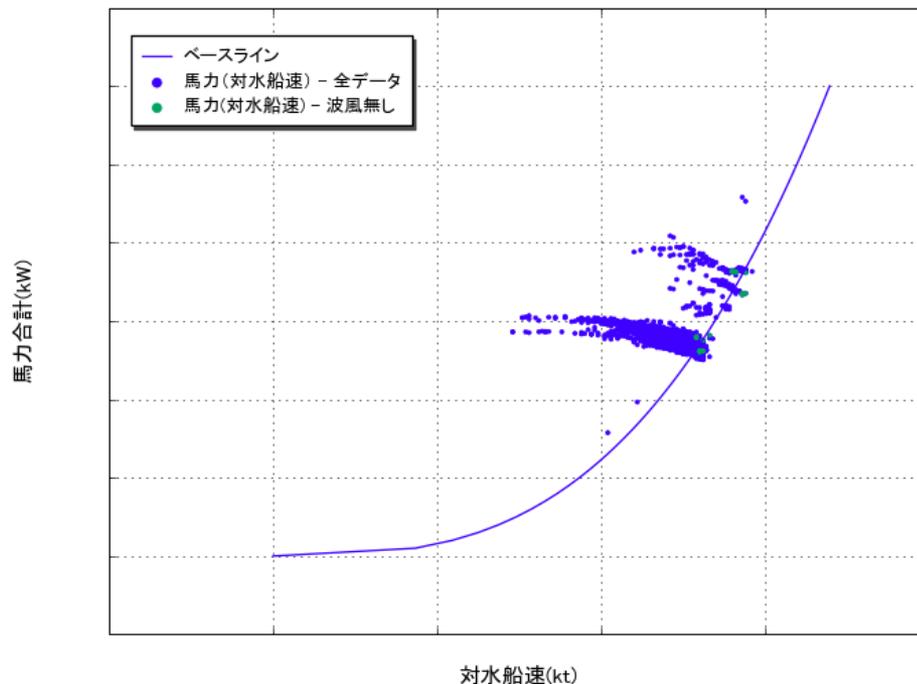


## データ絞り込み

- ? < 相対風速 < ?
- ? < 波高 < ?
- ? < 回転数 < ?
- ? < 馬力 < ?
- ? < CPP翼角 < ?

# VMSを用いたベースライン推定

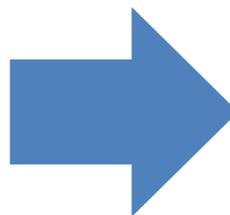
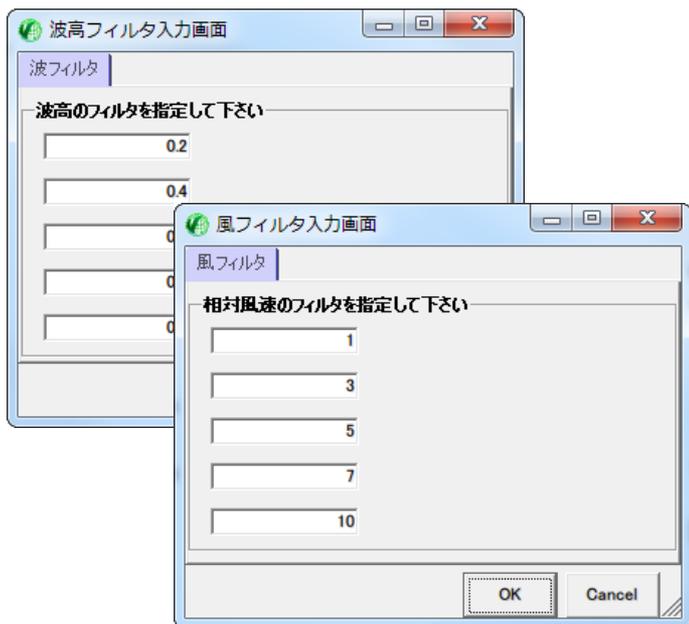
- 平水中をどう定義するか：風速・波高



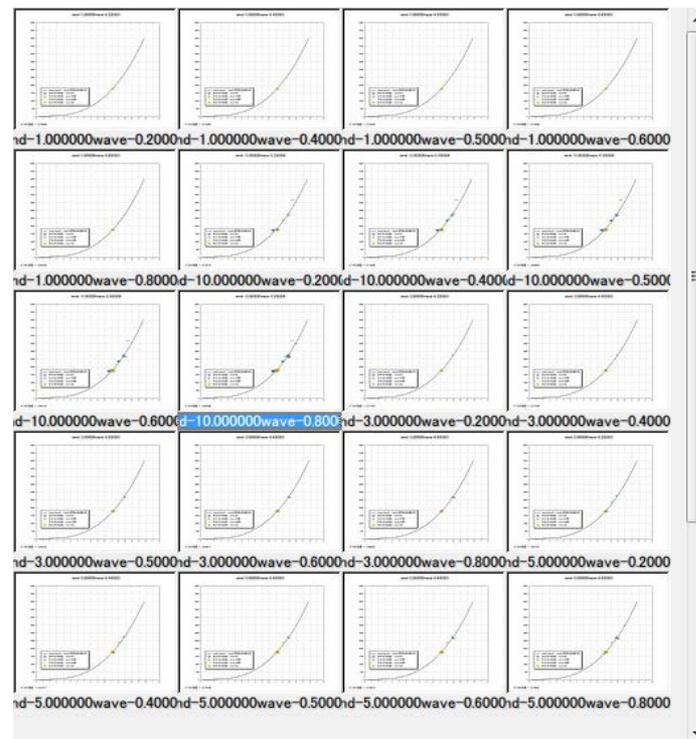
# VMSを用いたベースライン推定

- 解析条件を複数指定するだけで一気に出力

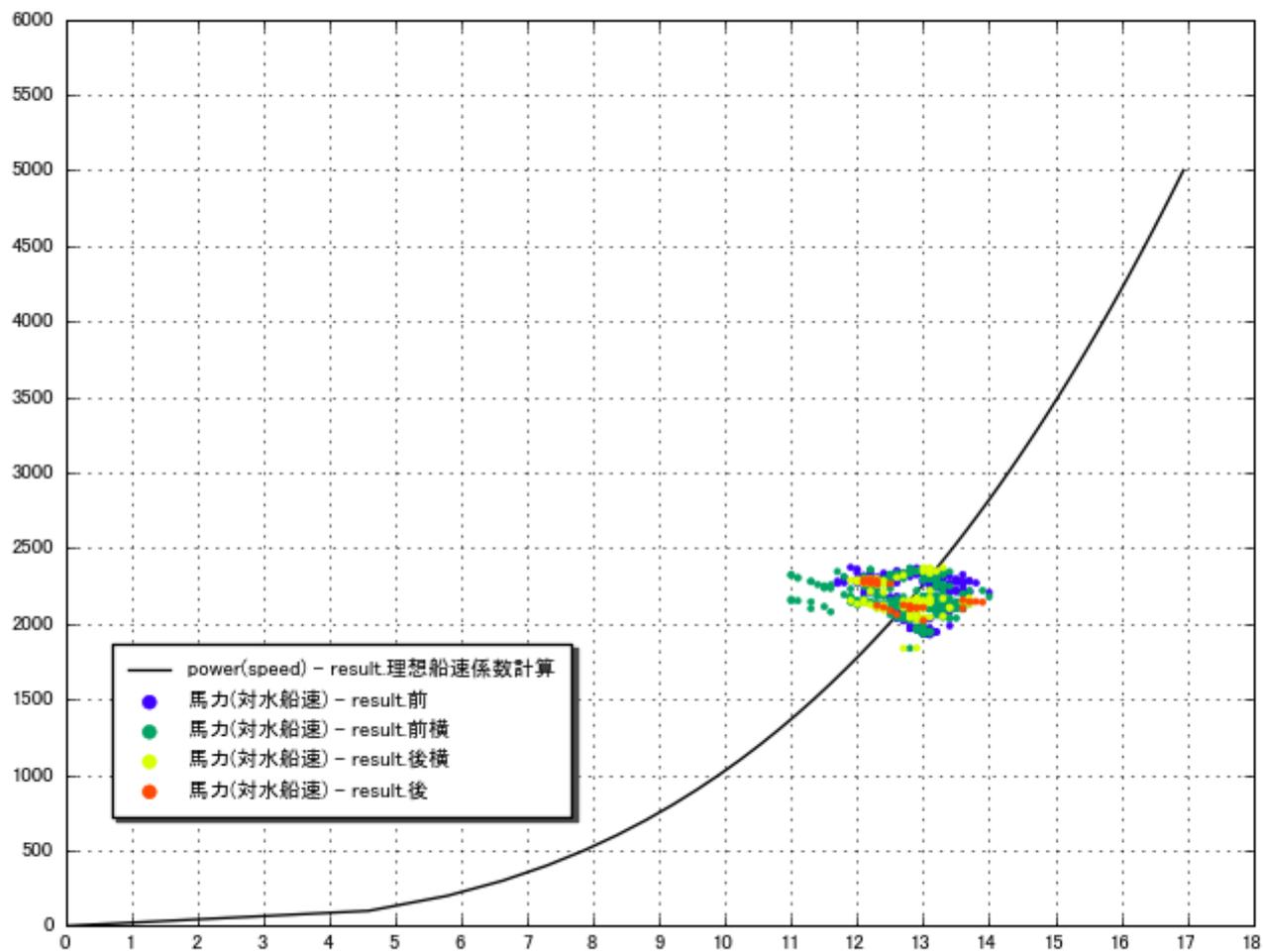
解析条件入力



アウトプット

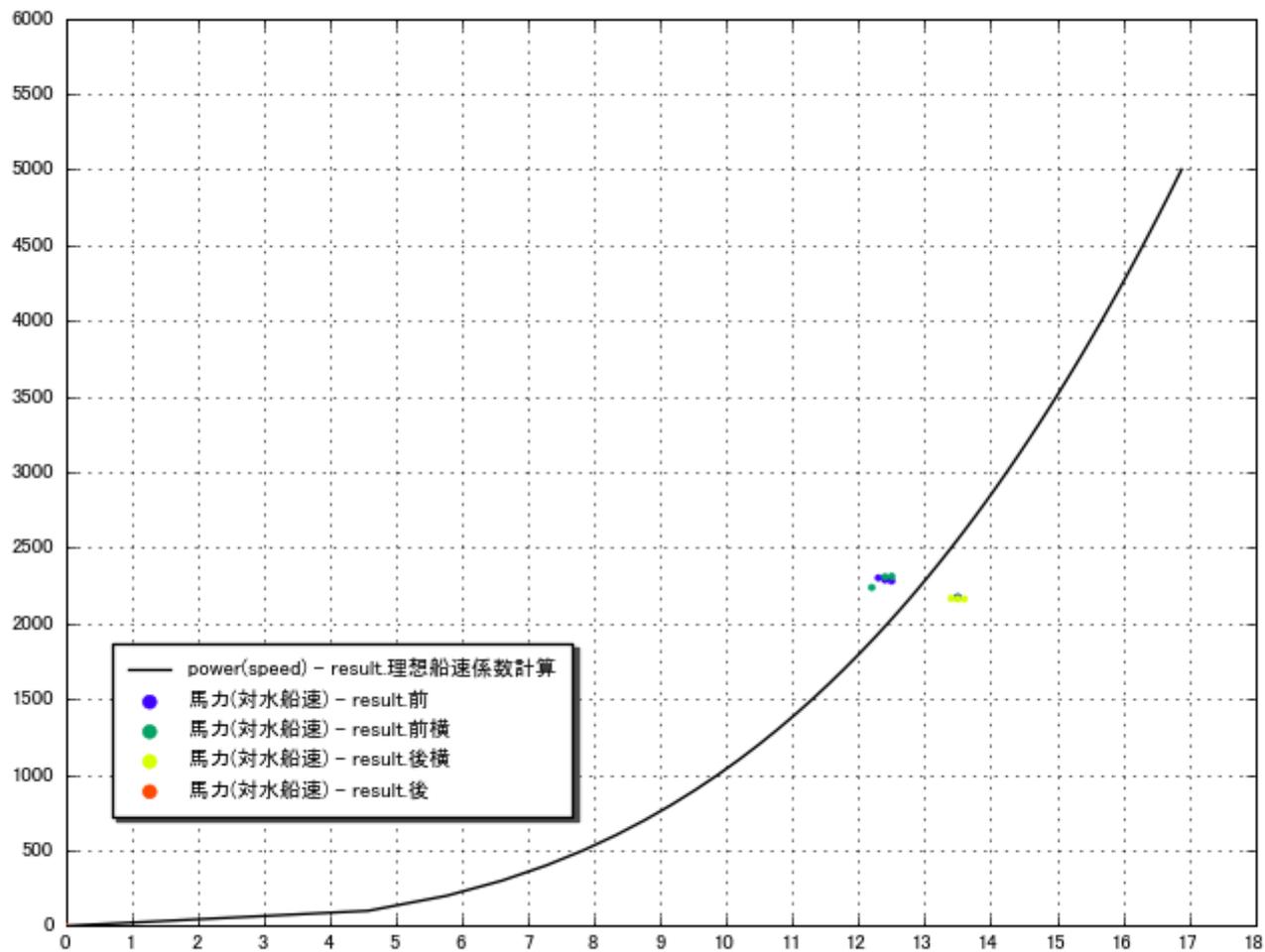


満船状態 相対風速5m/s以下、波高2m以下



$V^3$ の係数 = 1.028044

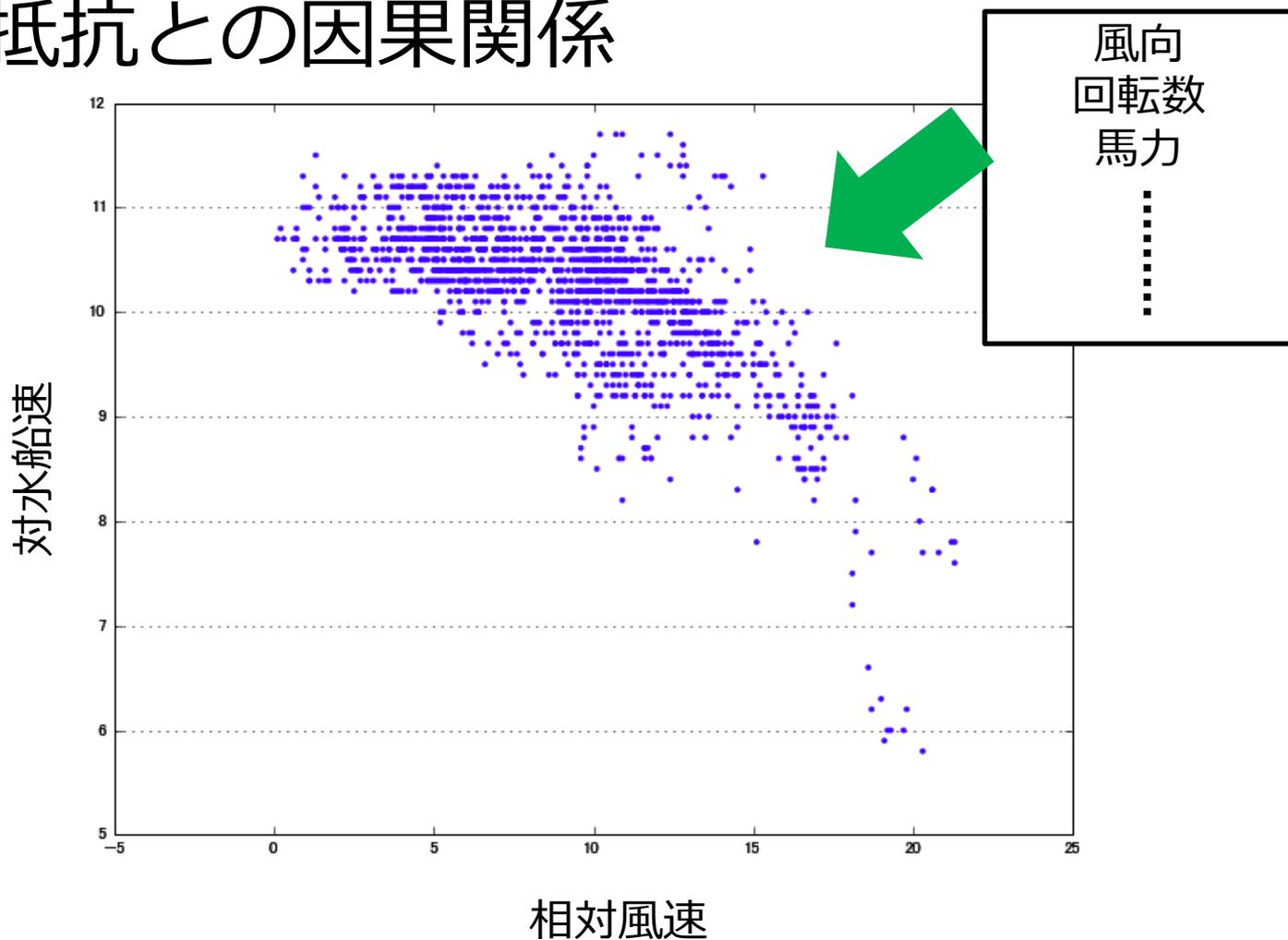
空船状態 相対風速1m/s以下、波高0.5m以下



$V^3$ の係数 = 1.038195

# 外力影響推定

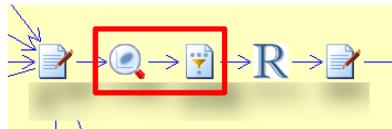
- 風抵抗との因果関係



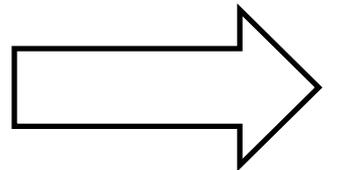
# 外力影響推定

- 研究者・研究補助者間の連携

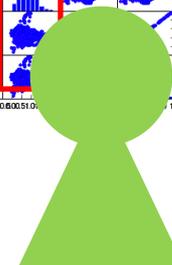
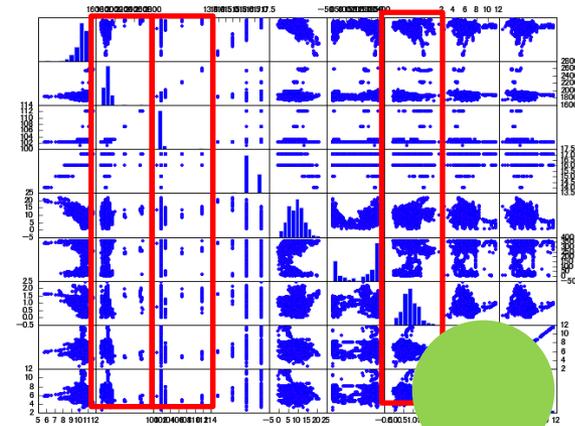
解析データの作成



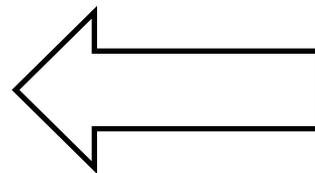
研究補助者



データの絞り込みの決定



研究者



# 導入前後

## 導入前

- ベースライン解析
  - 1隻に半日の作業
- 作業分担
  - スキルのある人同士
- グラフ作成
  - 1枚1枚作成

## VMS導入後

- ベースライン解析
  - 1隻に約30分の作業
- 作業分担
  - 初心者と一緒に作業
- グラフ作成
  - まとめて出力

# VMS導入の効果

- 研究者の作業負荷削減に大きく貢献
  - データの切り口を容易に変更できる
    - フィルタでの絞り込みがExcelと比較して早く実行できる
  - 1 解析が 1 クリックで終了する
    - Rの実行も 1 クリック
    - 以前は複数のアプリケーションを連携していた
  - 初心者とも共同作業ができる
    - 簡単なフィルタリングとクリックのみ
    - 特別なスキルがなくても解析可能

# VMS導入の効果

- 外部のシステム構築へむけて
  - インプットからアウトプットまでを一貫して構築したため、運航管理システムの基本ロジックの参考になった
  - 船舶の運用の前にVMSで事前検証できる
  - 運行管理システムの運用効果の検証方法をVMSで構築

# まとめ

- 研究所内におけるデータ解析負荷の省力化の取り組みを紹介
- 研究者と研究補助者での解析に作業分担方法を紹介
- VMS導入時の研究者の負荷削減効果について紹介