

# 東京湾の交通管理に関する研究 —海上交通シミュレーションによる安全性評価—

東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科

応用環境システム学専攻 福田 友子

# 目次

- 背景と目的
- 基礎調査
  - 東京湾の概要
  - 船舶航行データ
- 海上交通シミュレーション
  - ネットワーク及びデータベースの作成
  - シミュレーションと実際の比較
  - 待ち行列シミュレーションによる安全性評価
- まとめと今後の課題



**目的：** 東京湾内の輻輳海域での競合の回避  
出入する船舶の円滑な運航の確保を図る

入湾時刻のスケジューリングを行うことによる安全性評価

**評価方法：** ネットワーク・シミュレーション

ネットワーク

・ AIS情報から東京湾交通流のネットワークを設定

交通流再現

・ ネットワークを基に計画航路を設定した海上交通シミュレーションにより東京湾の船舶交通流を再現する

実際とシミュレーションの比較  
遭遇船舶の判定機能の検証

安全性評価

・ 待ち行列による待ち回数

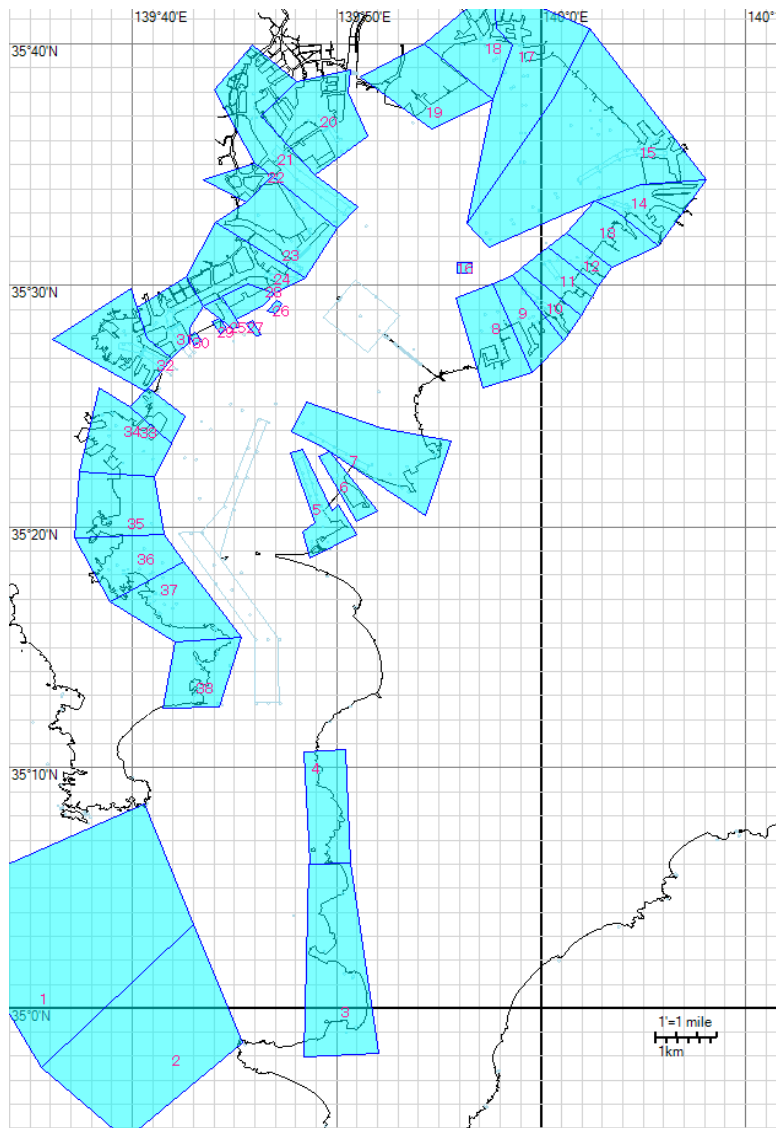
入湾時刻のスケジューリング  
による待ち回数の変化により  
評価

# 目次

- 背景と目的
- 基礎調査
  - 東京湾の概要
  - 船舶航行データ
- 海上交通シミュレーション
  - ネットワーク及びデータベースの作成
  - シミュレーションと実際の比較
  - 待ち行列シミュレーションによる安全性評価
- まとめと今後の課題

# 出発地/目的地の分類

- 港域や港湾区域で区切られている地区または航路等により1~38の範囲に分類

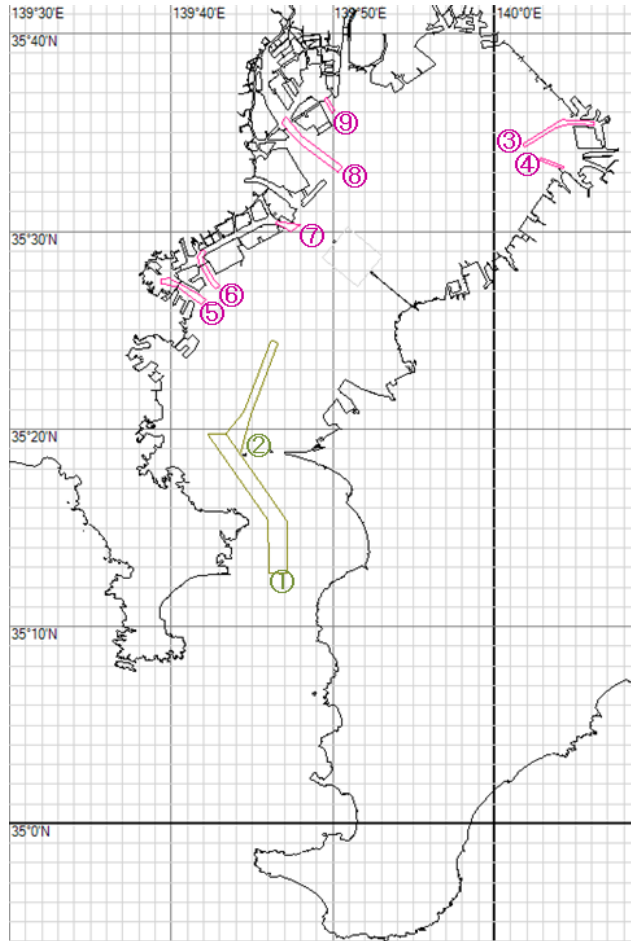


東京港の分類例

分類	No	OD(出発地/目的地)地名	AIS目的地コード
東京港	20	東京東航路(第三航路)	>JP TYO C
			>JP TYO V
			>JP TYO M
			>JP TYO L
	21	東京西航路(第一航路)	>JP TYO O
			>JP TYO R
			>JP TYO S
			>JP TYO A
			>JP TYO H
			>JP TYO T
22	羽田北地区・城南島地区・京浜島地区	>JP TYO XX	
23	多摩川地区	>JP TYO XX	

# 東京湾海上交通流の特徴

東京湾内の航路及び管制水路を示す。



航路	対象船舶	管轄・運用機関
①浦賀水道航路 ②中ノ瀬航路	長さ50m以上の船舶 (中ノ瀬航路については、喫水20メートル以上の船舶は航路航行義務が免除)	東京湾海上交通センター

管制水路	管制船	管制対象船	管轄・運用機関
③千葉航路	長さ140m以上、油送船にあっては総トン数千トン以上	長さ50m以上 (500トン未満除く)	千葉港内交通管制室
④市原航路	長さ125m以上、油送船にあっては総トン数千トン以上	長さ50m以上 (500トン未満除く)	千葉港内交通管制室
⑤横浜航路	長さ160m以上、油送船にあっては総トン数千トン以上	長さ50m以上 (500トン未満除く)	横浜港内交通管制室
⑥鶴見航路	総トン数千トン以上	総トン数千トン以上	川崎港内交通管制室
⑦川崎航路	総トン数千トン以上	総トン数千トン以上	川崎港内交通管制室
⑧東京東航路	長さ150m以上、油送船にあっては総トン数千トン以上	長さ50m以上 (500トン未満除く)	東京港内交通管制室
⑨東京西航路	長さ300m以上、油送船にあっては総トン数千トン以上	長さ50m以上 (500トン未満除く)	東京港内交通管制室

※管制船：管制信号が入航信号もしくは出航信号でのみ航路を航行できる一定以上の大きさの船舶

※管制対象船：管制船が航路を入出航する際に行き会いが制限（港長が認めた船舶を除く）される一定以上の大きさの船舶

# 大型船入航予定情報

- 東京湾海上交通センターは現在の日付～向こう7日分の浦賀水道航路への大型船入航予定情報をHPにて提供
- このHPにおける大型船とは、全長160m以上の船舶である。

**大型船入航予定情報** 東京湾海上交通センター

最終更新日時：2016年 12月 24日 10時 30分  
 次回更新予定：2016年 12月 24日 11時 00分

現在の日付～向こう7日分の大型船入航予定情報を提供します。  
 当ホームページにおける大型船とは、全長160m以上の船舶をいいます。

表示期間：2016年 12月 24日～2016年 12月 31日  
 この情報は、予定が変更になることがありますので、ご注意願います。

浦賀水道航路の南口入航予定船(北航船) 226隻

入航予定時刻 (日付/時刻)	船名	船種	総トン数	全長	種別	国籍	仕向地 (入航航路)	中ノ瀬航路	パイロット
1224/10:30		貨物船	17019	169		PAN	木更津 (木更津航路)	経由	有
1224/10:40		貨物船	101932	299	巨	PAN	木更津沖	経由	有
1224/10:45		自動車運搬船	17077	174		LBR	横須賀		有
1224/11:55		油タンカー	160134	333	巨	JPN	京葉シーバース	経由	有
1224/12:05		油タンカー	28465	182		MHL	千葉沖	経由	有
1224/12:15		自動車運搬船	28755	160		PAN	横浜沖		有
1224/12:20		貨物船	14902	160		JPN	浦崎 (浦崎航路)	経由	×

(資料：東京湾海上交通センターHP)

## 公開されている情報

浦賀水道航路入出航予定時刻

船名

船種

船型(総トン数、全長)

種別(巨大船、危険物積載船)

国籍

仕向地or仕出地

入出航航路

中ノ瀬航路航行有無

パイロットの有無

今後一元的に取扱う  
ことを期待する情報

入出湾(港)情報  
岸壁の使用時間  
錨地及び錨泊時間等



湾内航行船舶管理が  
より有効なものとして期待

(例)

入湾した船舶の目的港と着岸予定時刻  
港を出て出港する船の離岸時刻



- 湾内にて両船が行き会う海域及びその時刻の推定
- 実時刻での現在位置、状況から行き会う海域の修正



# 目次

- 背景と目的
- 基礎調査
  - 東京湾の概要
  - 船舶航行データ
- 海上交通シミュレーション
  - ネットワーク及びデータベースの作成
  - シミュレーションと実際の比較
  - 待ち行列シミュレーションによる安全性評価
- まとめと今後の課題

# 船舶航行データ

目視観測で船名がわかった船舶は  
船舶明細書、船名録  
を用いて静的情報を入手

	利点	欠点
目視観測	船の大きさがわかる。 錨泊船・操業漁船・プレジャー ボートの観測も可能。	長期間・広範囲の観測が困難。 距離測定精度がレーダと比較し てよくない。 予備知識が必要である。
レーダ観測	狭視界でも、昼夜問わず実行で きる。 記録、データ整理まで一貫して 自動化できる可能性がある。 距離測定精度がよい。	船種・国籍等がわからない、船 の大きさの判定制度が低い（目 視観測と結合することで大幅に とりのぞくことができる。）。 島影や波、雨などで探知できな い船舶もある。
AIS	レーダと同様。 船種や船の長さ等の静的情報 の他に船首方位や速力等の動 的情報も得られる。 レーダでは島影や波、雨などで 探知できない船舶のデータも取 得できる。	AIS装置搭載船であり、AISを適 切に運用している船舶のデータ しか得られない。

## 実態調査 2日間

- 平成20年度に関東地方整備局  
東京湾口航路事務所が実施
- (公社) 日本海難防止協会より、  
本来の趣旨に反しない限りの利  
用を条件にいただいた
- 2008年3月10日(月) 00:00~11  
日(火) 24:00までに観測され  
た船舶

## AISデータ 1ヶ月間

- 東京海洋大学先端ナビゲートシ  
ステムで得られた船舶航行デー  
タ
- 便宜を図るためにデータ収集間  
隔を1分に編集
- 2013年10月1日00:00~30日  
24:00

# 実態調査データを用いた交通流解析(1)

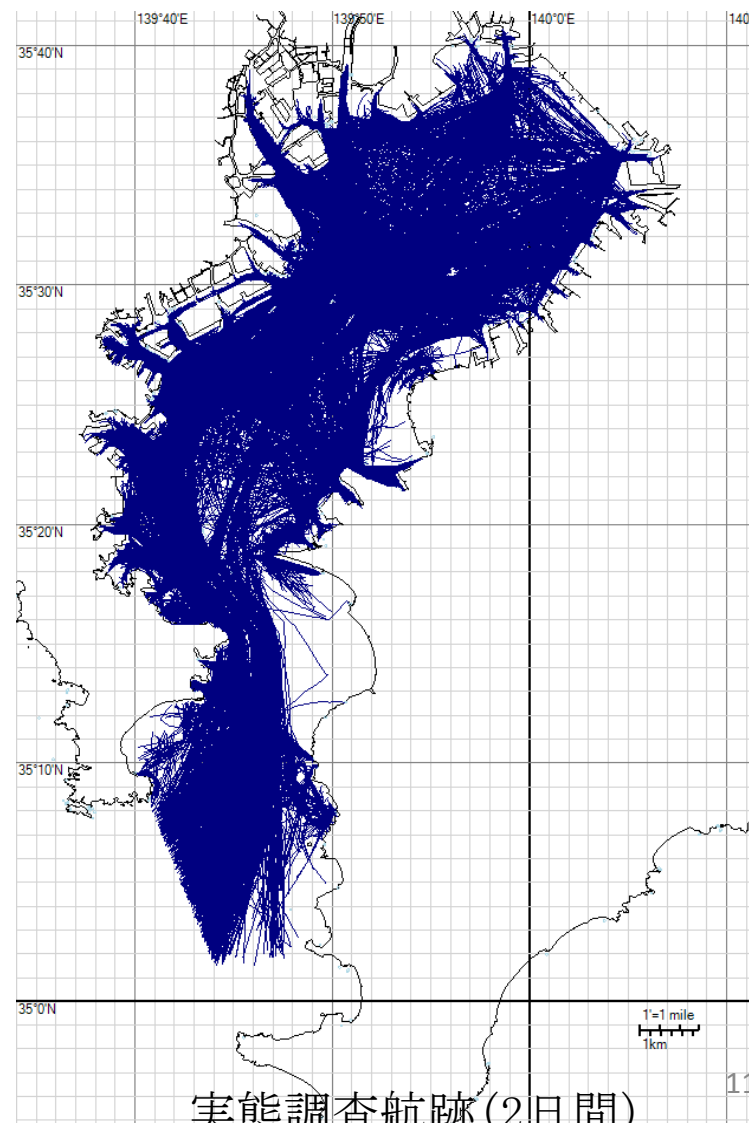
2008年3月10日（月）00:00～11日（火）24:00までに観測された船舶の船種・船型別隻数（トリップ数）

	一般船舶*	危険物積載船**	その他***	合計
500t未満	836	822	5323	6981
500t以上10000t未満	373	351	184	908
10000t以上	155	32	13	200
合計	1364	1205	5520	8089

\*）一般貨物船、材木船、鋼材船、砂利・砂・石材船、セメント船、  
鉍石船、穀物船、自動車専用船、フルコンテナ船、セミコンテナ船、その他専用船

\*\*）石炭船、タンカー・タンク船

\*\*\*）客船、貨客船、自動車航走船、その他の船舶



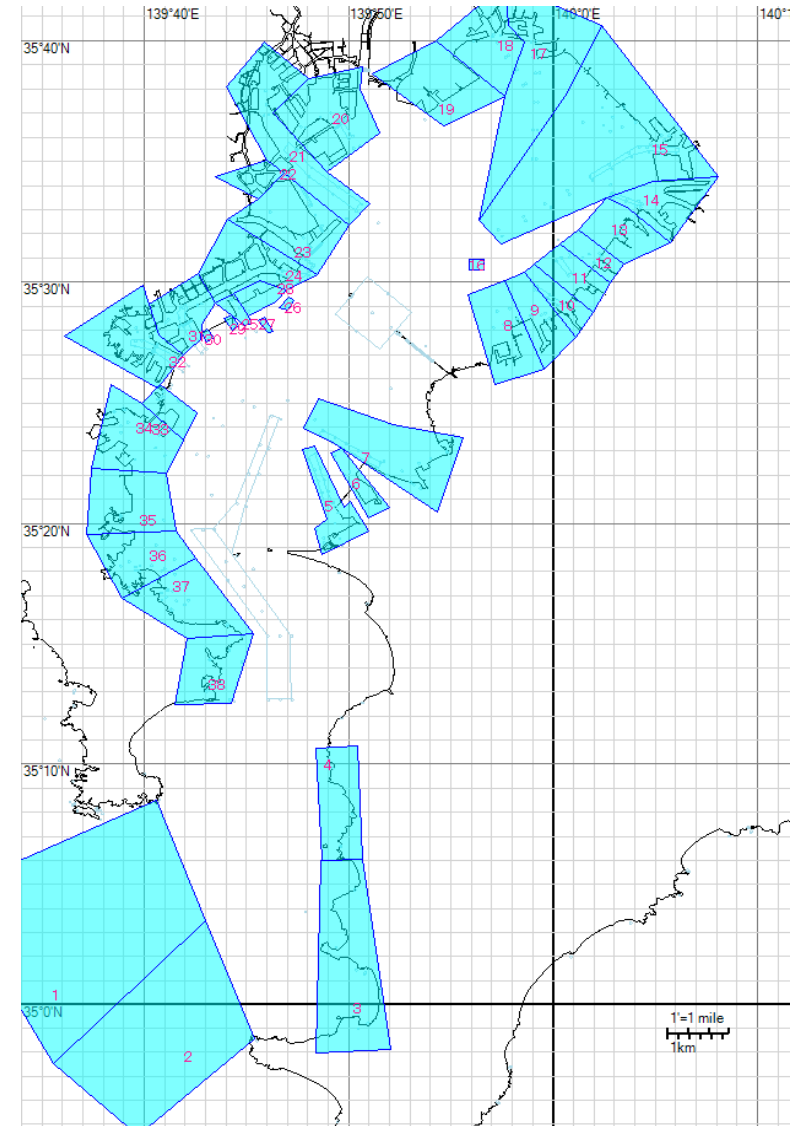
# 実態調査データを用いた交通流解析(2)

船種船型別東京湾入湾船隻（トリップ）数  
（目的地が3番~38番の範囲内のもの）

	一般船舶	危険物積載船	その他	合計
500t未満	67	19	10	96
500t以上10000t未満	58	23	11	92
10000t以上	22	3	5	30
<b>合計</b>	<b>147</b>	<b>45</b>	<b>26</b>	<b>218</b>

船種船型別東京湾出湾船隻（トリップ）数  
（出発地が3番~38番の範囲内のもの）

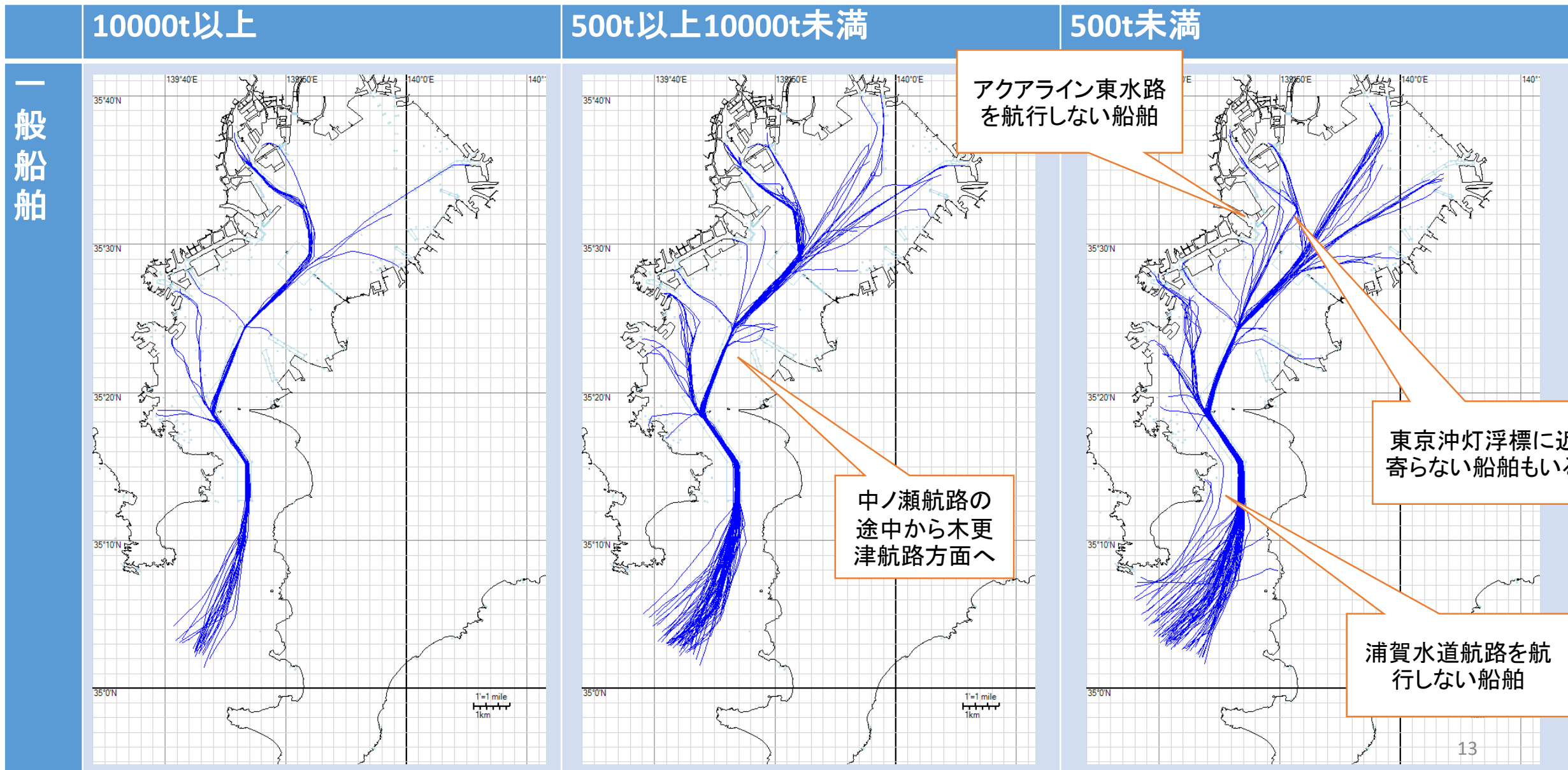
	一般船舶	危険物積載船	その他	合計
500t未満	96	37	20	153
500t以上10000t未満	77	55	18	150
10000t以上	41	6	4	51
<b>合計</b>	<b>214</b>	<b>98</b>	<b>42</b>	<b>354</b>



出発地/目的地の分類(スライド6より) 12

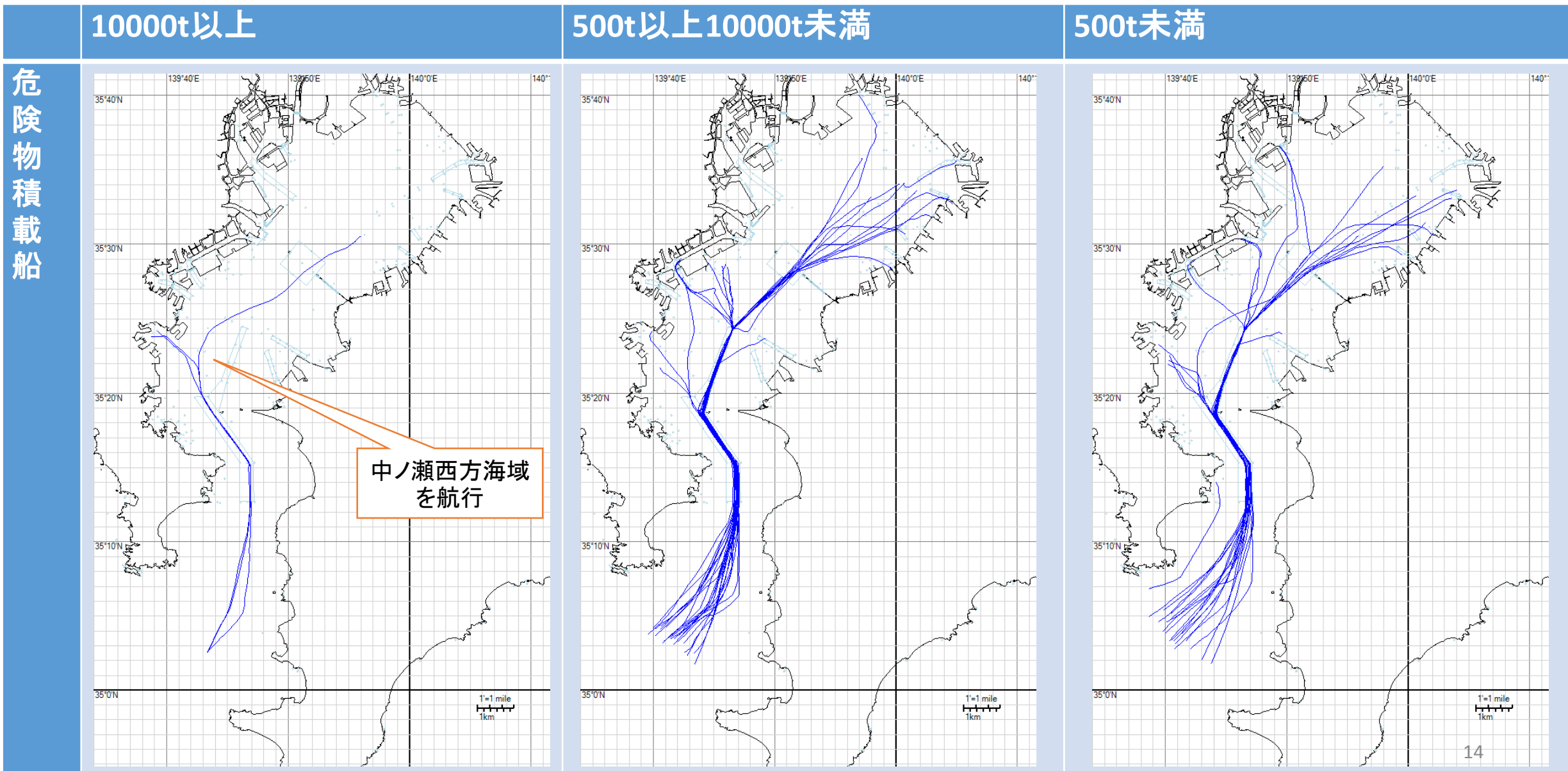
# 実態調査データを用いた交通流解析(3)

東京湾入湾船の航跡(1)



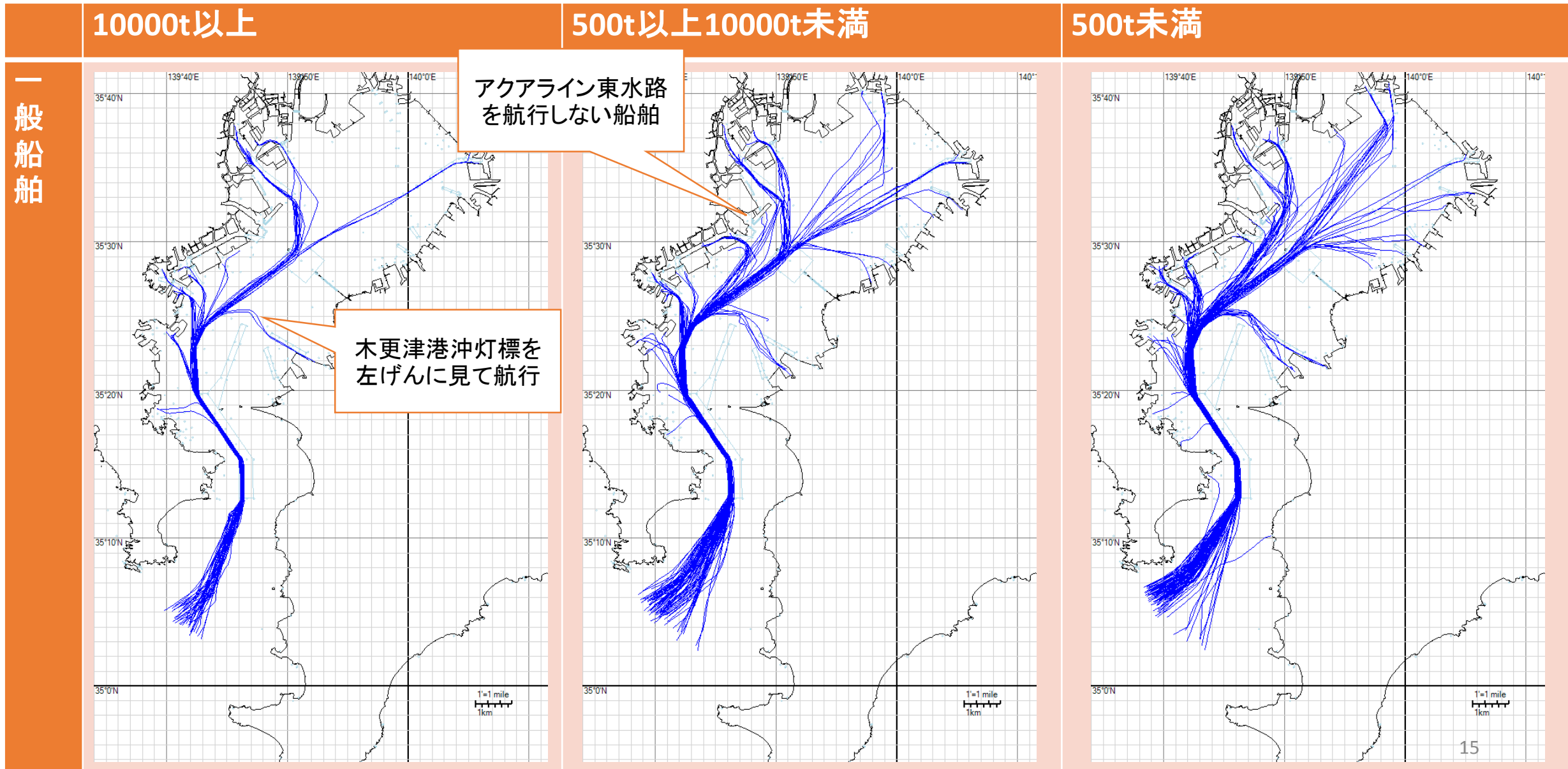
# 実態調査データを用いた交通流解析(4)

東京湾入湾船の航跡(2)



# 実態調査データを用いた交通流解析(6)

東京湾出湾船の航跡(1)



# AISデータを用いた交通流解析(3)

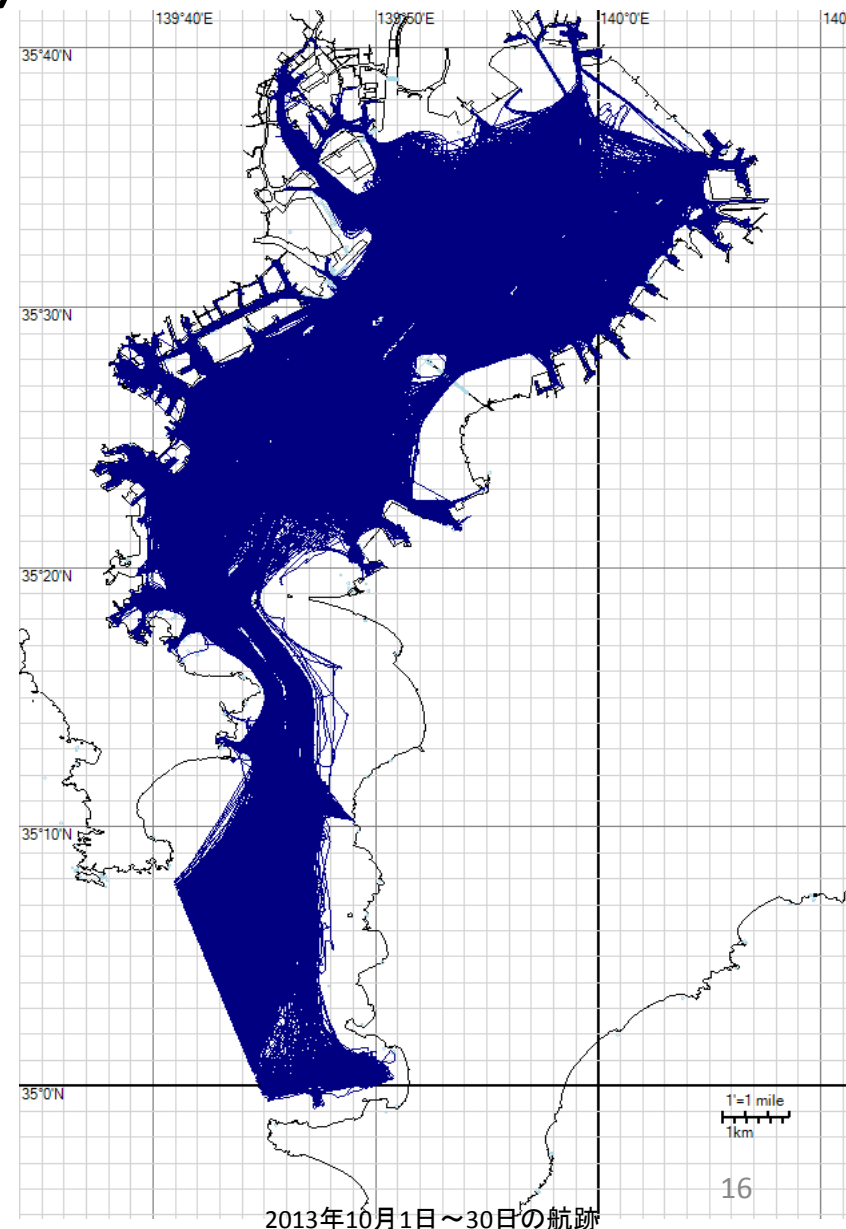
2013年10月1日～30日の解析結果。

存在した船舶の船種・船型別隻数

	一般船舶	危険物積載船	その他	不明	合計
50m未満	2	2	60	8	72
50m以上80m未満	274	233	26	27	560
80m以上160m未満	533	234	207	15	989
160m以上	638	163	24	1	826
不明	8	1	6	25	40
<b>合計</b>	<b>1455</b>	<b>633</b>	<b>323</b>	<b>76</b>	<b>2487</b>

単位時間あたり（1分）に存在する  
平均船舶隻数（データ数÷(30×60×24)）

	一般船舶	危険物積載船	その他	不明	合計
50m未満	0.1	0	33.8	1.5	35.4
50m以上80m未満	37.6	43.3	6.4	3.3	90.6
80m以上160m未満	66.9	33.4	79.2	1.8	181.3
160m以上	34.9	9.7	2.6	0	47.2
不明	1.2	0.1	0.4	0.9	2.6
<b>合計</b>	<b>140.7</b>	<b>86.5</b>	<b>122.4</b>	<b>7.5</b>	<b>357.1</b>





# AISデータを用いた交通流解析(4)

2013年10月1日～30日の解析結果。

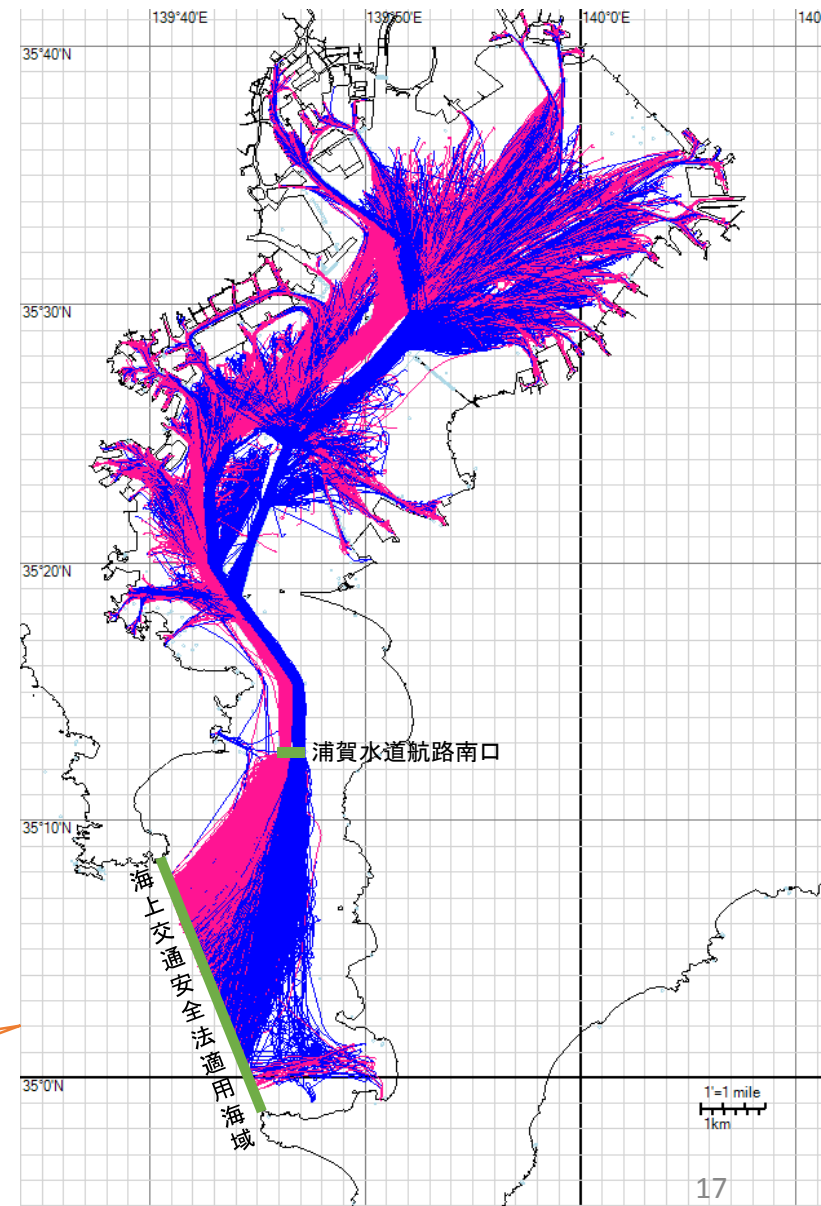
2つのライン（図の黄緑線）を通過した船舶について解析

ゲートラインを通過した船舶：7153隻（トリップ）  
うち出湾船3569隻、入湾船3584隻  
（1日平均出湾船118.9隻、入湾船119.4隻）



1か月分の合計隻数では、入湾する船舶と出湾する船舶の隻数は同程度であった。

2つのゲートラインを通過した船舶の航跡  
ピンク色：出湾（浦賀水道航路を南航）する船舶  
青 色：入湾（浦賀水道航路を北航）する船舶



# 目次

- 背景と目的
- 基礎調査
  - 東京湾の概要
  - 船舶航行データ
- 海上交通シミュレーション
  - ネットワーク及びデータベースの作成
  - シミュレーションと実際の比較
  - 待ち行列シミュレーションによる安全性評価
- まとめと今後の課題



これまでのスライドで示した  
基礎調査を基に

# 東京湾海上交通ネットワーク及びデータベースの作成

- ネットワーク作成
- データベース(計画航路、予定速力)
- 船舶航行予定情報(シナリオ)の作成

仮のMMSI	出発時刻	出発地ID	目的地ID	長さ
120703001	2013/10/17 0:07	101	120	70
131703002	2013/10/17 0:14	101	131	70
321702010	2013/10/17 0:04	82	51	120
111703011	2013/10/17 0:16	111	101	70
131701012	2013/10/17 0:21	13	1	200
341703013	2013/10/17 0:26	134	101	70
118703017	2013/10/17 0:57	101	118	70
134702018	2013/10/17 1:14	51	84	120
:	:	:	:	:

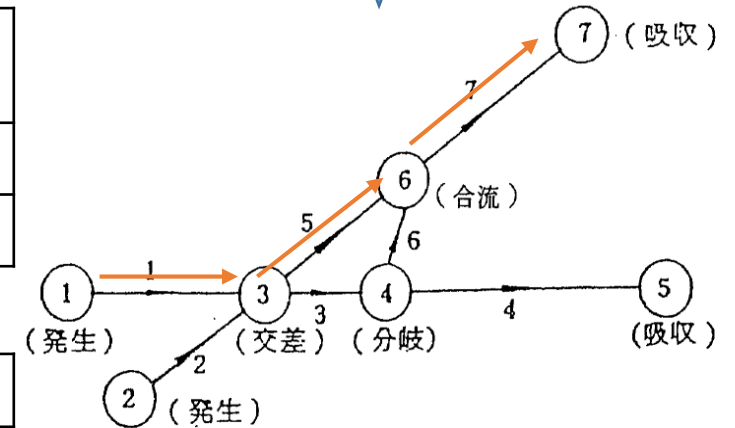
船舶航行予定情報(シナリオ)例

出発地ID	目的地ID	経路ノード			
1	7	1	3	6	7
1	5	1	3	4	5

計画航路データベース例

出発地ID	目的地ID	経路ノード			
1	7	12	10	8	
1	5	11	13	7	

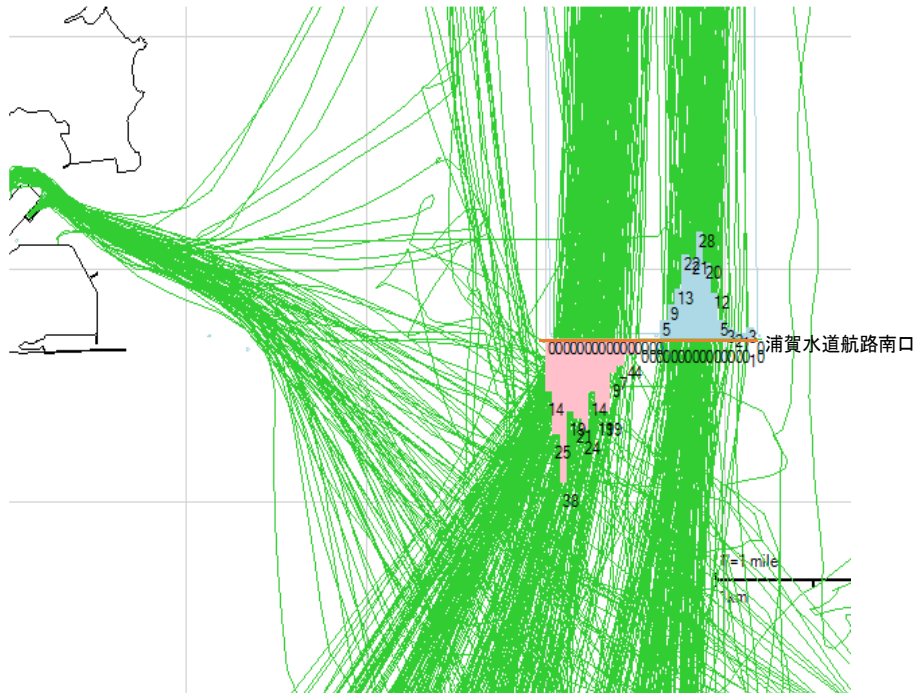
予定速力データベース例(kt)



ネットワークシミュレーションイメージ  
 (資料: 海上交通計画情報に関する研究、奥山育英、昭和60年)

# ネットワーク作成

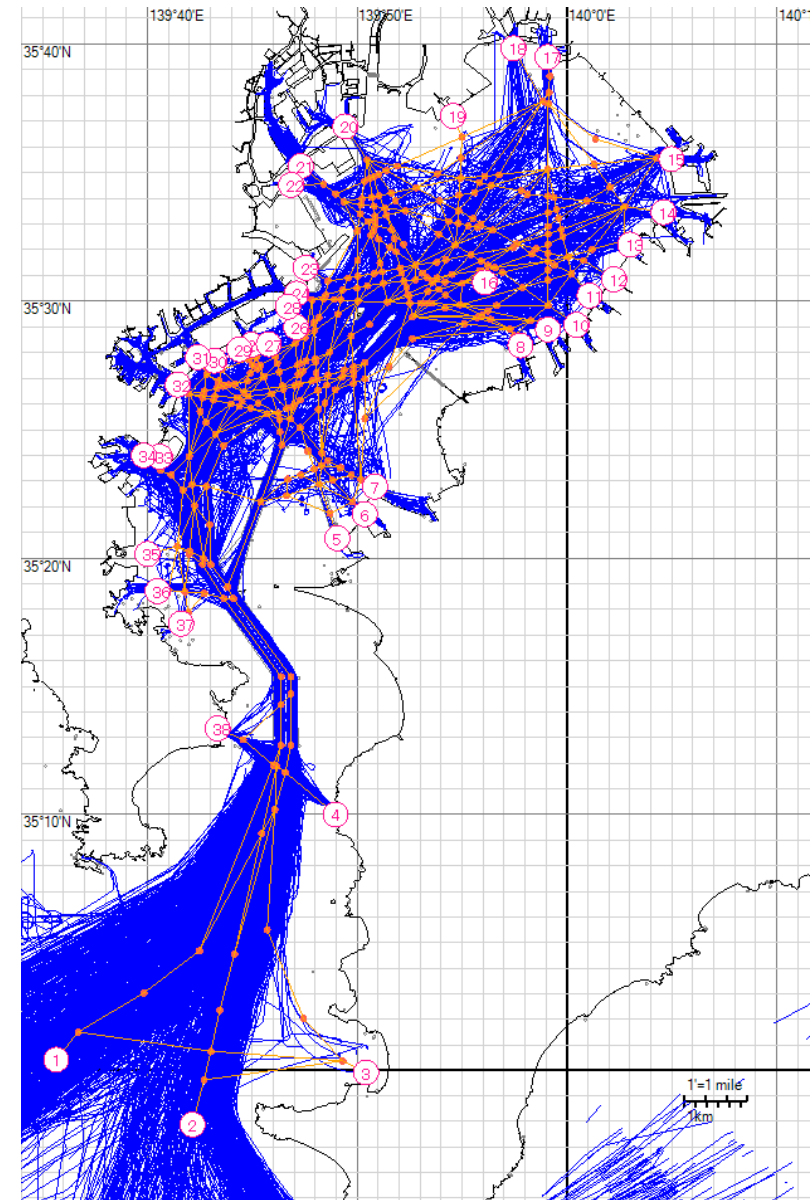
- 目的地までの航跡分布は正規分布で近似できる  
(参考：海上交通工学、藤井弥平)
- AISの航跡からネットワークを作成  
(右図：東京湾の交通流及び、ネットワーク図)



浦賀水道航路南口の船舶の航跡分布

出発地/目的地ノード番号 1番~38番

出発地/到着地ノード以外のノード番号200番~800番



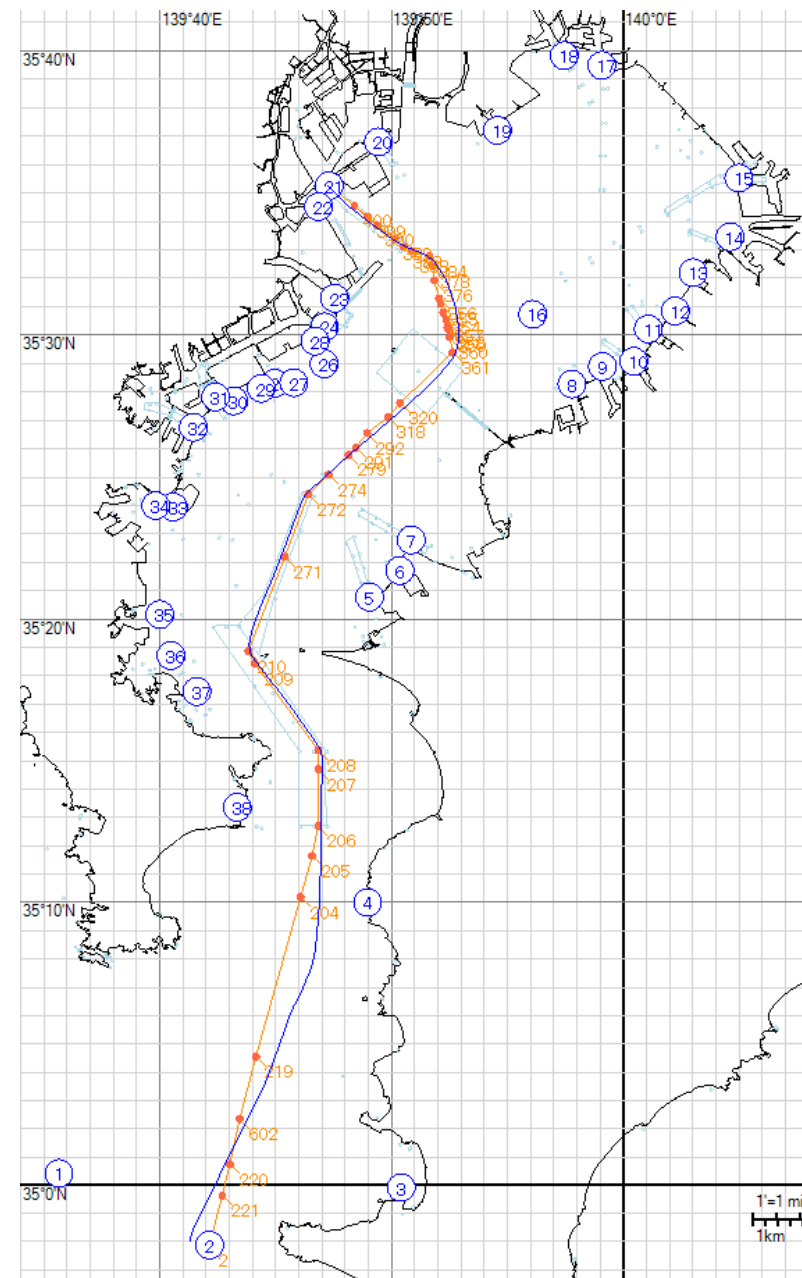
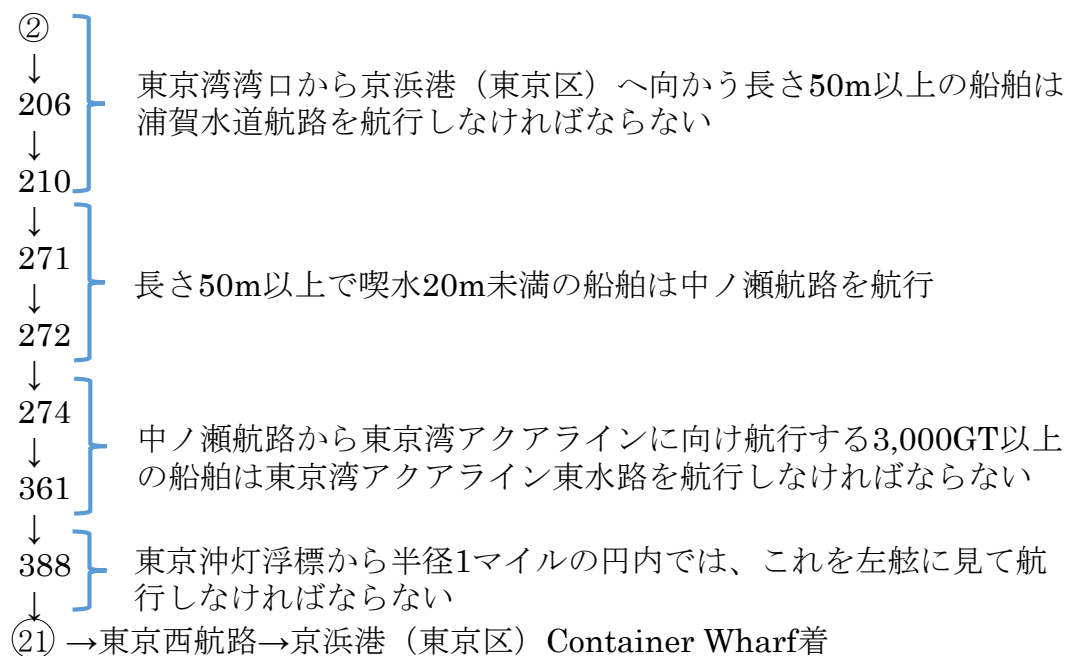
紺色の線： AISデータから得られた東京湾の交通流  
オレンジ色の円： ノード (交差点、屈曲点)  
ピンク色の円及び番号： ノード (発生、吸収)  
オレンジ線： リンク (船舶の航路)

# データベース(計画航路)

東京湾湾口(始点②)から京浜港(東京区)(終点②1)へ向かう船舶の例を示す。

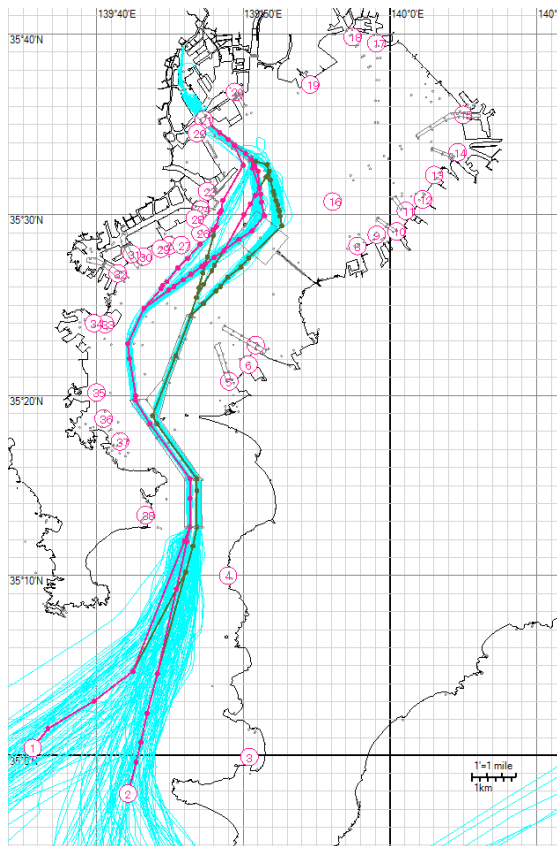
目的地コードは『>JP TYO O』

- 『TYO』:京浜港(東京区)を仕向港とする船舶
- 『O』:港内ではContainer Wharfに向かって航行

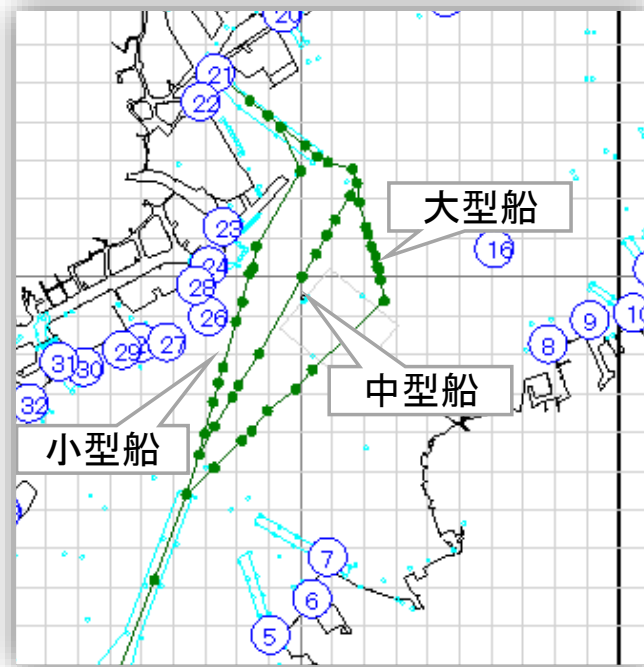


青色の線: 「>JP TYO O」を行き先コードとして入力している船舶の航跡  
オレンジ: ネットワークのノード

# データベース(計画航路)



東京湾湾口から東京西航路へ  
向かう船舶の航跡



計画航路(入湾船)拡大図

船の大きさ別の航路を抽出できるように  
ノード番号の組合せのデータベースを作成

- 出発地/目的地別に計画航路数は船型別に3通り作成 (航行経路は全部で1968通り)
  - 大型船：長さ160m以上の船舶
  - 中型船：長さ80m以上160m未満の船舶
  - 小型船：長さ50m以上80m未満の船舶

1~38のノード番号は3種類設定

(例) 東京湾口 (大島西側) は番号1だが、  
同位置に

大型船は1

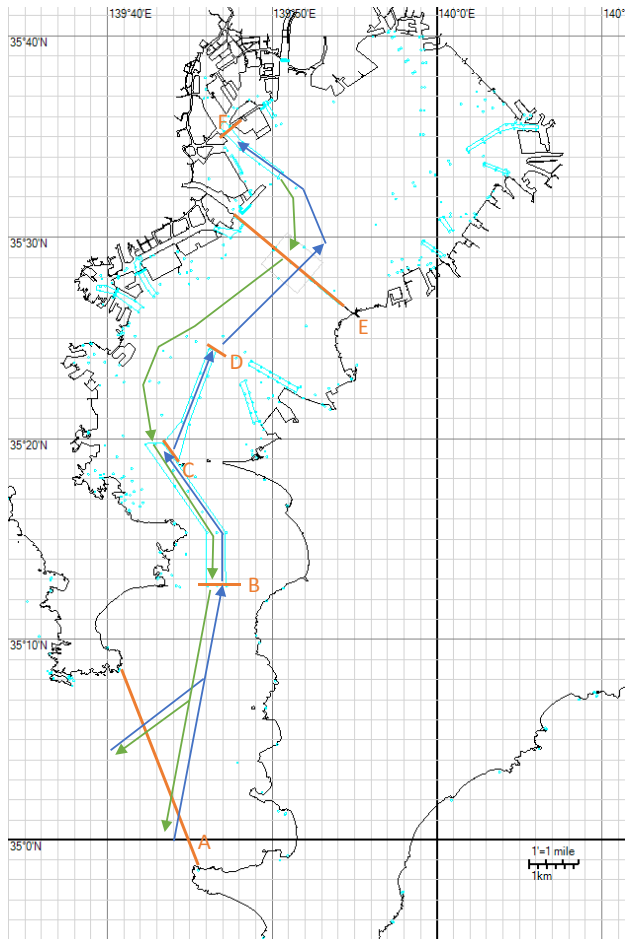
中型船は51(1+50)

小型船は101(1+100)

を設定

# データベース(予定速力)

速力は、各通過ラインにおける平均速力を船の長さごとに設定した。平均速力はAISデータ(2013年10月の1か月分)を基としている。



通過ラインの設定

	200m以上	150~200m	100~150m	100m未満
A	12.7	15.1	15.6	12.0
B	12.7	12.7	12.5	11.6
C	12.3	12.2	12.1	11.6
D	13.3	13.4	12.7	11.6
E	14.1	15.5	14.4	11.8
F	8.0	11.2	10.6	11.2

各通過ラインにおける船の長さ  
に対する平均速力(knot)

# 船舶航行予定情報の作成(シナリオ)

ネットワーク・シミュレーションを行うにあたり、必要とされる船舶航行予定情報の例を示す。  
各船舶に対し、出発時刻や出発地/目的地のノード番号、船の長さ情報が必要となる。  
船の長さから現在位置から出発地と出発時刻、目的地コードと船の長さから目的地IDが決定でき、出発地IDと目的地IDから航路が決定される。

仮の MMSI	出発時刻	出発地 ID	目的地 ID	長さ
120703001	2013/10/17 0:07	101	120	70
131703002	2013/10/17 0:14	101	131	70
321702010	2013/10/17 0:04	82	51	120
111703011	2013/10/17 0:16	111	101	70
131701012	2013/10/17 0:21	13	1	200
341703013	2013/10/17 0:26	134	101	70
118703017	2013/10/17 0:57	101	118	70
134702018	2013/10/17 1:14	51	84	120
:	:	:	:	:



# 目的地の抽出

AIS搭載船については、目的地コードの入力が義務化されているため、出発地や目的地の情報をAIS情報から得ることができる。

国際信号旗又は汽笛による行き先の表示に加え、進路を知らせるための措置として、利用されている。

## 【AISの「目的地に関する情報」の入力方法】

- 港則法の適用港（東京湾内では、京浜港・千葉港・木更津港・横須賀港・館山港）に入港することを目的として当該港の港内又は境界付近を航行する場合で、海上交通安全法に定める航路（東京湾内では浦賀水道航路及び中ノ瀬航路）を航行しようとする船舶の場合

>JP 000 00/000

### 目的港を示す記号

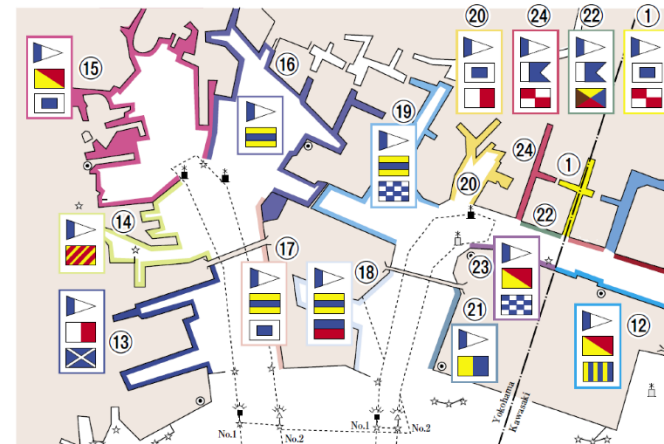
- Ex) FNB  
CHIBA KATSUNANKU
- Ex) KWS  
KEIHIN KAWASAKIKU

### 港内での進路を示す記号

- 港内又は境界付近で錨泊する場合は、錨泊を示す記号を追加的に入力。
- Ex) OFF  
目的港の港内又は境界付近で錨泊しようとする場合
- 一部の特定港の港内を航行する場合は、同港内での進路を示すため、これまでの信号旗による表示に加え、進路を示す記号を追加的に入力。
- Ex) XX  
詳細に定められている進路以外の目的港内での進路

### その他必要な情報を示す記号

- 経由するルート等について必要な場合には更に追加して入力。
- Ex) NNX  
途中、東京湾内の中ノ瀬海域で錨泊しようとする船舶。



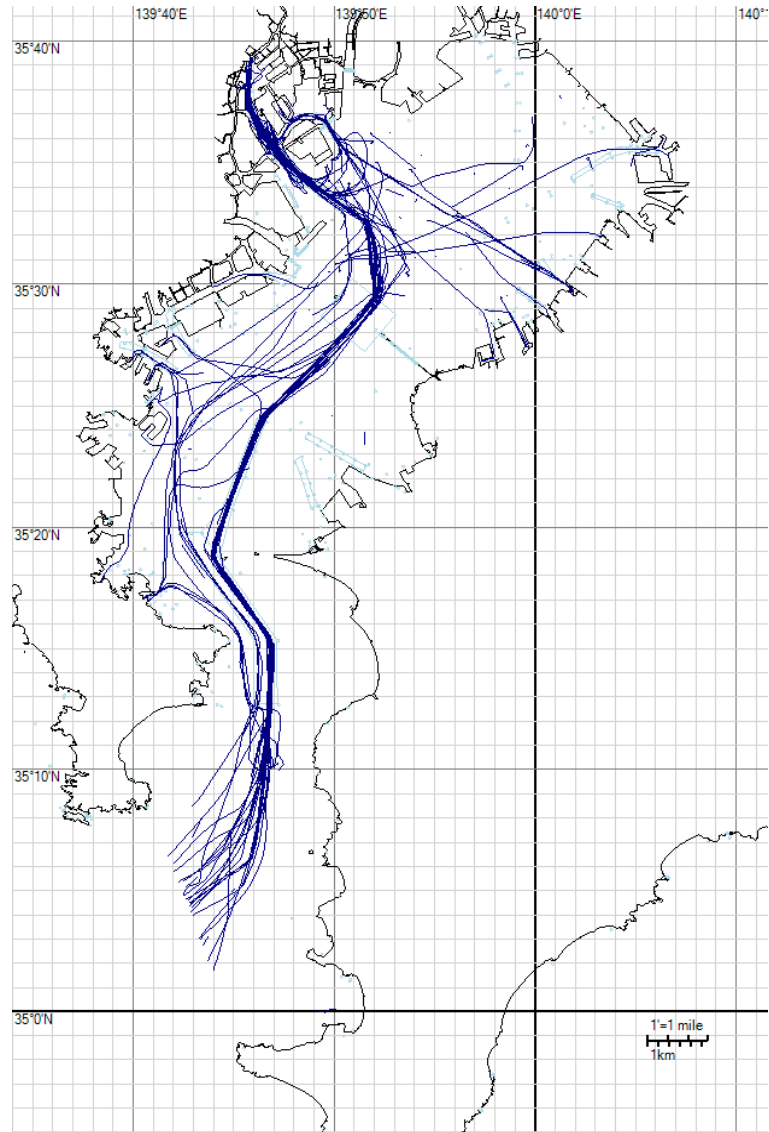
港の名称	港コード	港則法規則第11条に基づく 進路信号	対応する 港内進路コード	入力例			
京浜	横浜区	JP YOK	⑬ 2代・H・M	HM	>JP YOK HM		
			⑭ 2代・Y	Y	>JP YOK Y		
			⑮ 2代・O・S	OS	>JP YOK OS		
			⑯ 2代・D	D	>JP YOK D		
			⑰ 2代・D・S	DS	>JP YOK DS		
			⑱ 2代・D・E	DE	>JP YOK DE		
			⑲ 2代・D・N	DN	>JP YOK DN		
			⑳ 2代・S・H	SH	>JP YOK SH		
			㉑ 2代・K	K	>JP YOK K		
			㉒ 2代・A・Z	AZ	>JP YOK AZ		
			㉓ 2代・O・N	ON	>JP YOK ON		
			㉔ 2代・A・U	AU	>JP YOK AU		
			① 2代・S・U	SU	>JP YOK SU		
			上記以外の目的港内での進路			XX	>JP YOK XX
			* 根岸方面			XX	>JP YOK XX NGI
			* 南本牧方面			XX	>JP YOK XX SHN
			* 本牧方面			XX	>JP YOK XX HNN

横浜海上保安部 TEL: 045-201-1671 FAX: 045-211-2407 URL: <http://www.kaiho.milt.go.jp/03kanku/yokohama/>

## 港内での進路(例:横浜)

(資料:横浜市港湾局 横浜港入港の手引き)

# 目的地コードを「>JP TYO」としている船舶の航跡図(10月17日1日分のAISデータより)



- 出湾船であっても目的地コードによれば東京行きとなっている場合もある
- 東京湾海上交通センター等の通知により改善されているが、現状では正しい目的地を推定するためには航跡を解析しなければならない

現実にはAIS情報から得られる情報や行政業務での情報の一元的な管理により、船舶航行予定情報を作成することができるようになると期待される。

# 目次

- 背景と目的
- 基礎調査
  - 東京湾の概要
  - 船舶航行データ
- 海上交通シミュレーション
  - ネットワーク及びデータベースの作成
  - シミュレーションと実際の比較
  - 待ち行列シミュレーションによる安全性評価
- まとめと今後の課題

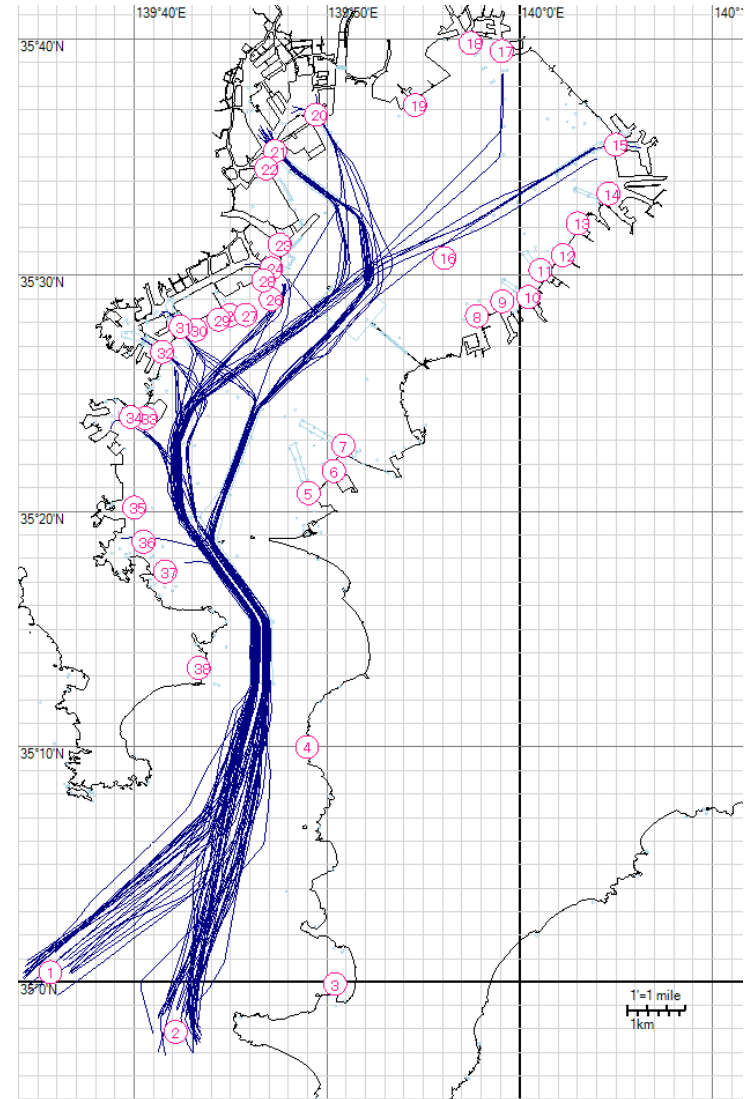
# シミュレーションと実際の比較

始点、終点のノード番号及び出発時間を過去のAISデータをもとに設定し、シナリオを作成した。

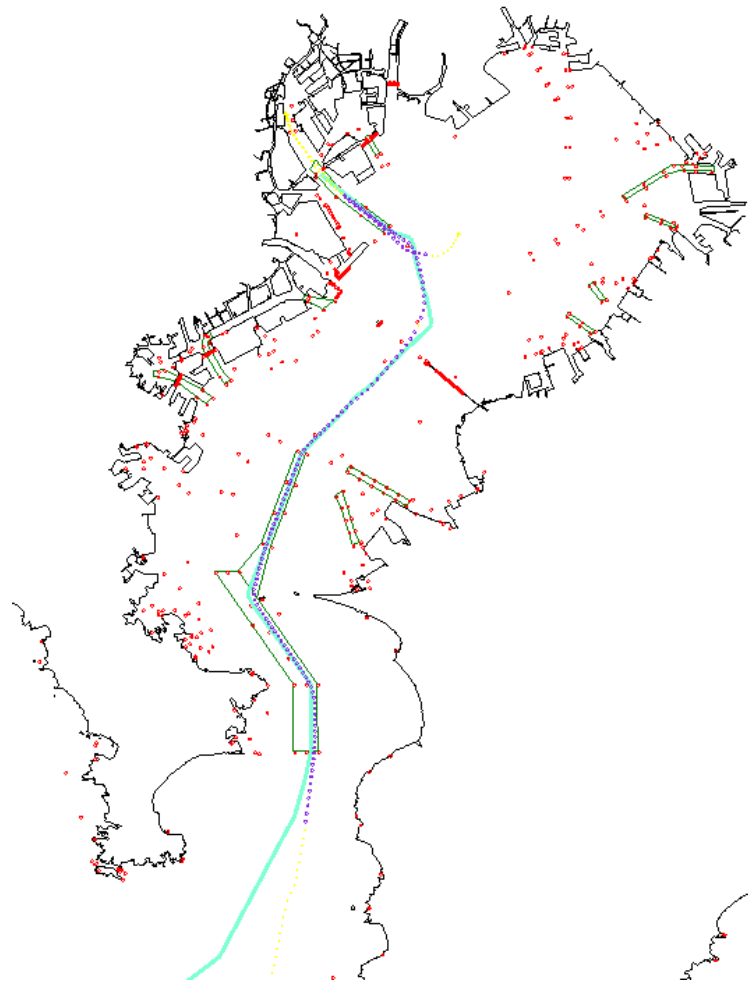
## シナリオ作成条件

- ・始点が1,2  
終点が6,15,17,18,20,21,24,31,32,33,34,36,37
- ・始点が6,15,17,18,20,21,24,31,32,33,34,36,37  
終点が1,2
- ・途中で錨泊していない船舶
- ・出発地・目的地ノードから1マイル以内を3ノット以上で航行している船舶

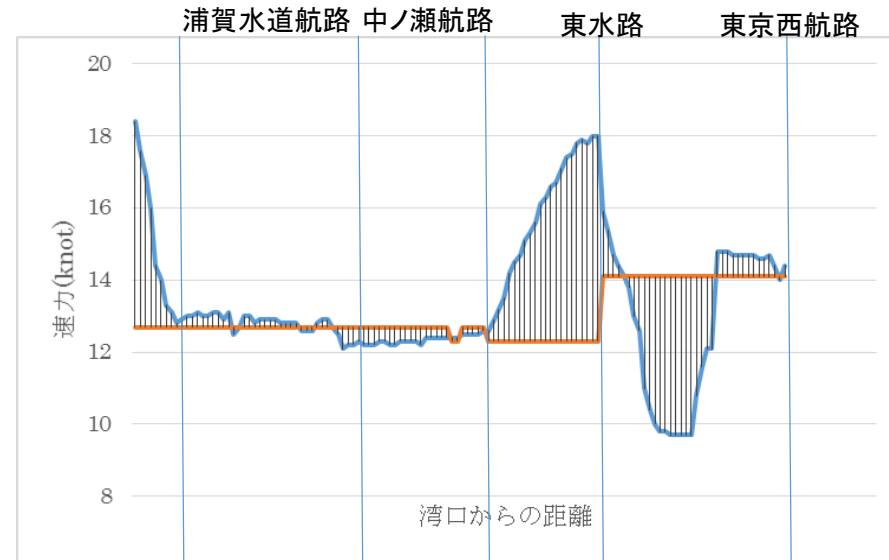
合計57隻／日



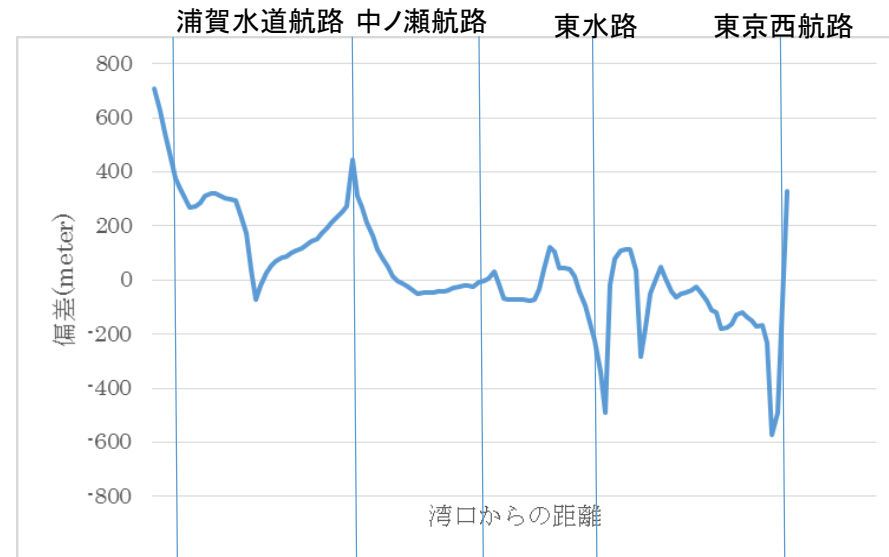
# 任意の船の航跡とネットワークから得られる 計画航路(速力設定A)



任意の航跡図と計画航路



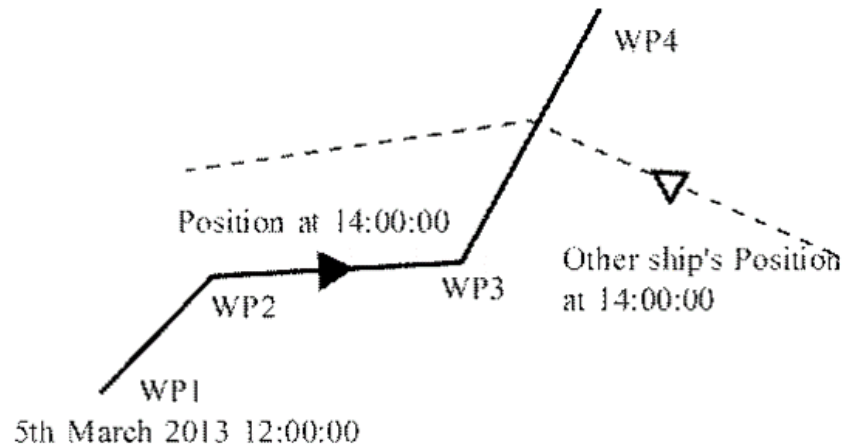
計測された速力(青線)と予定速力(橙色の線)の変化



計画航路からの偏差

# 遭遇船舶の判定(速力設定A)

自船のみならず、他船の位置及び船首方位についても求めた。

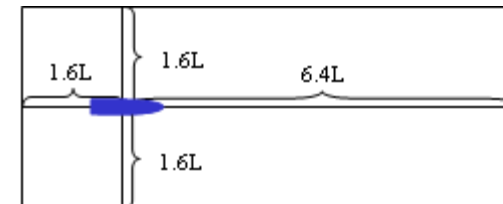


シミュレーションのためのシナリオと船の位置の計算

## 湾内の遭遇時間及び海域の判定について

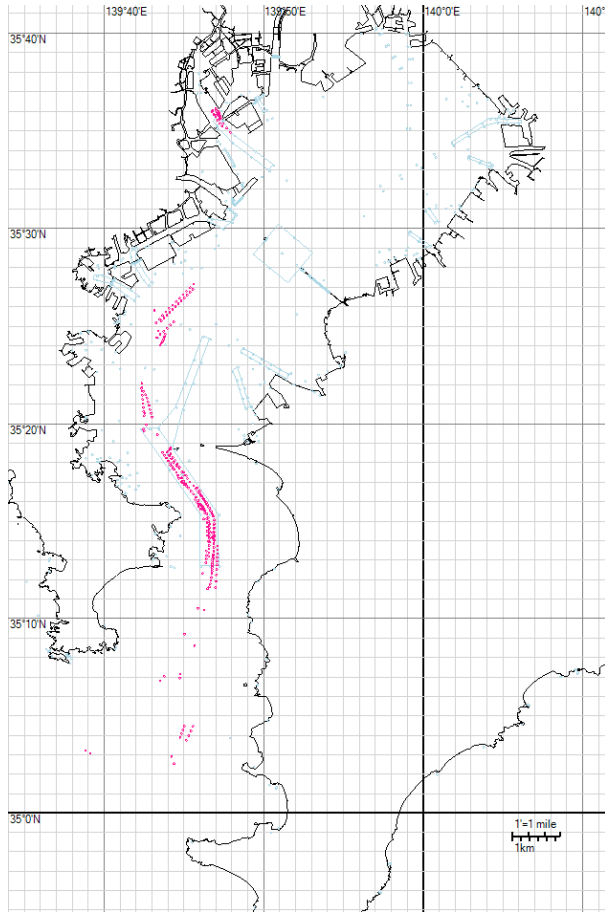
★DCPA <  $\pm 3.2 * L$  かつ TCPA <  $\pm 5 \text{min.}$   
L: 船の全長

★バンパーモデル

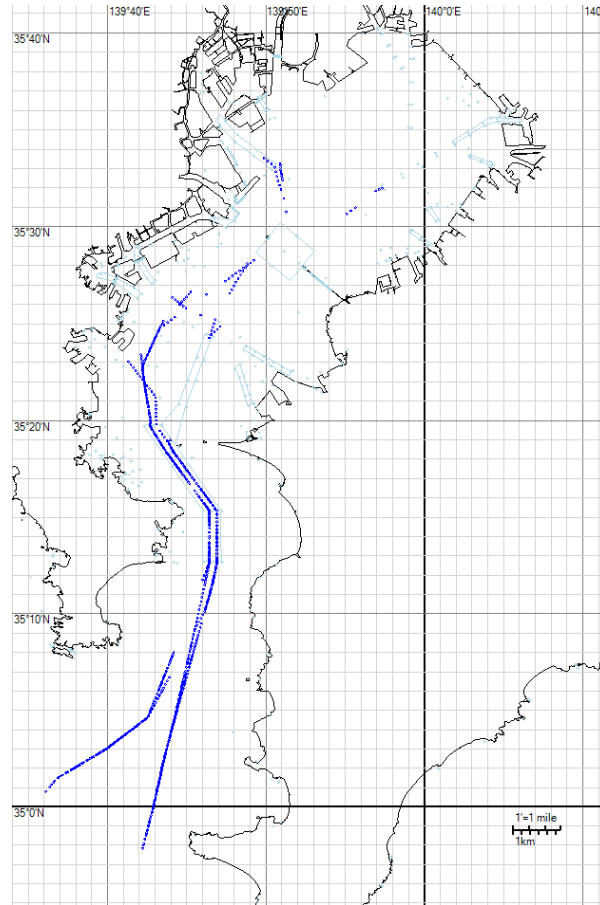


# シミュレーション結果(CPA)

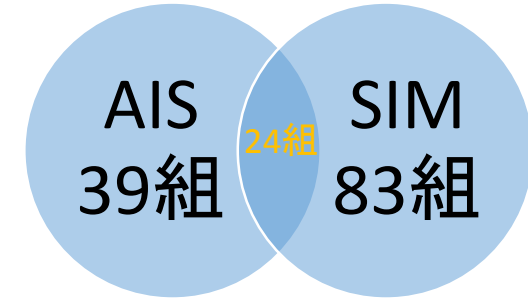
実際とシミュレーションの結果で比較すると、遭遇の可能性のあるポイント数はシミュレーションの方が多い。



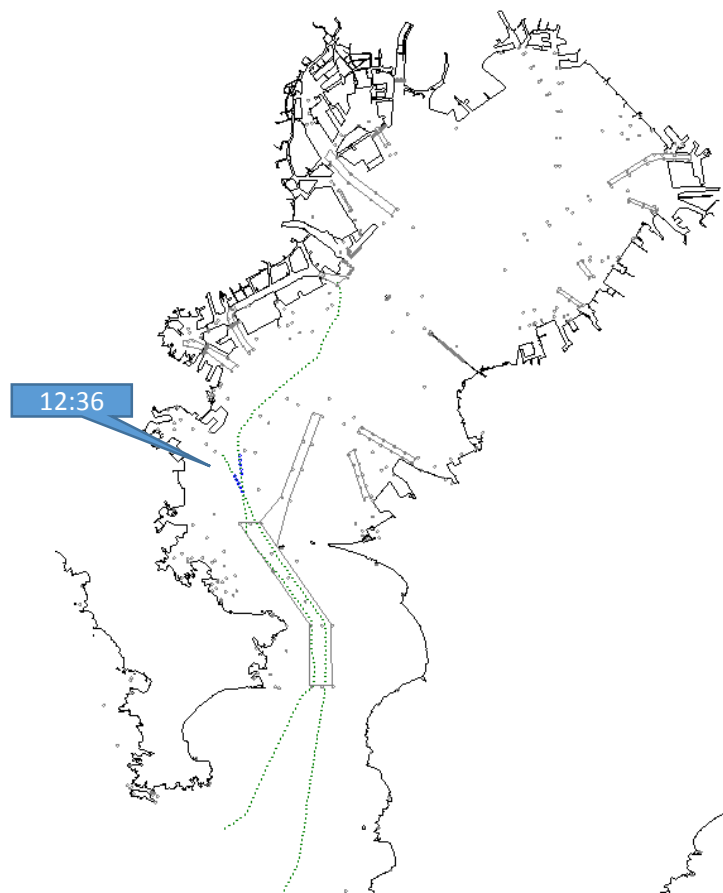
実際の航跡から得た遭遇の可能性の有るポイント



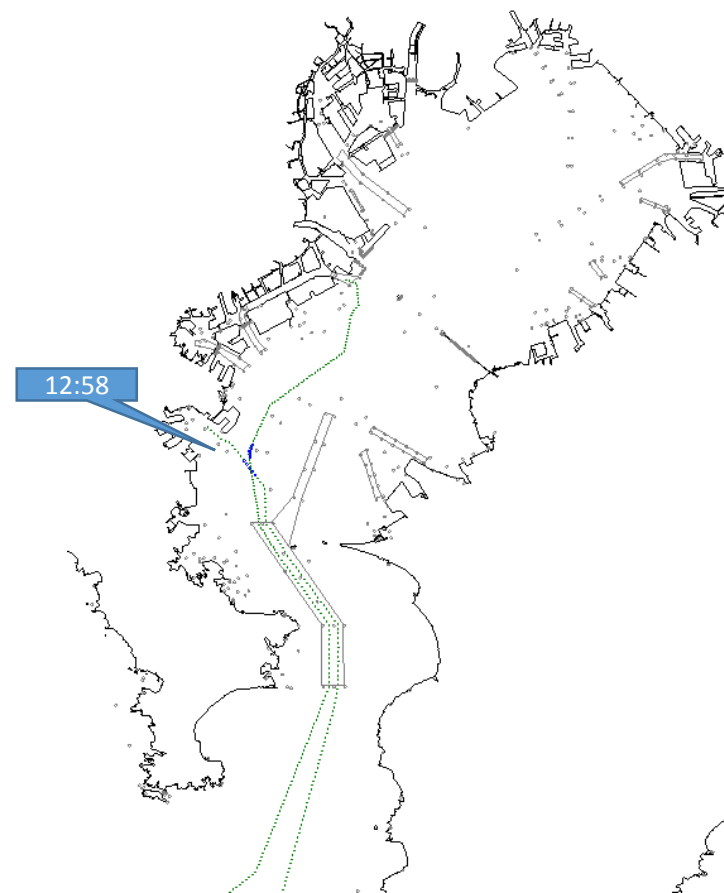
シミュレーションから得た遭遇の可能性の有るポイント



# 同じ海域で遭遇の可能性があると判断された例



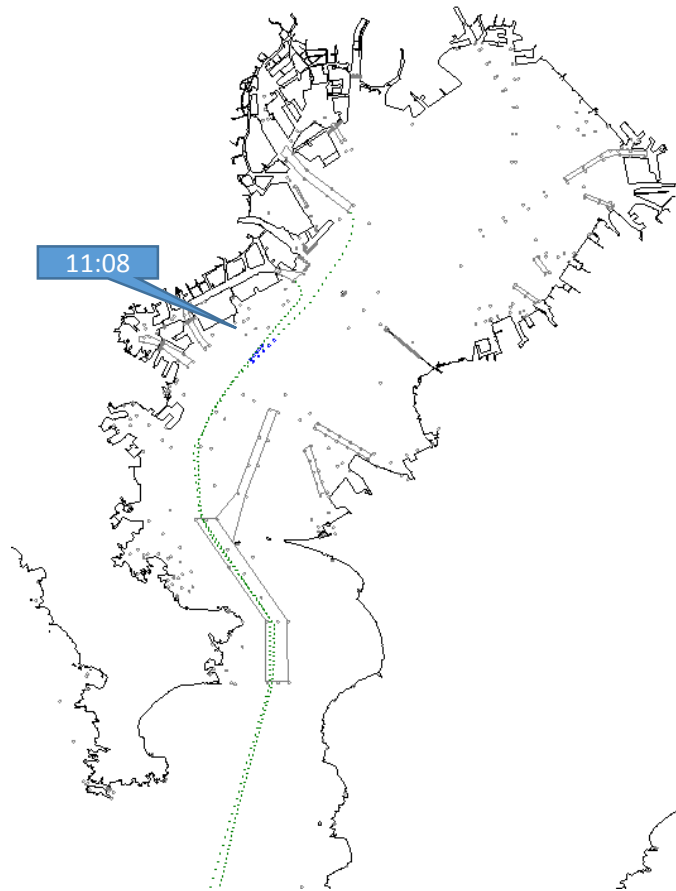
実際の航跡から得た遭遇の可能性の有るポイント



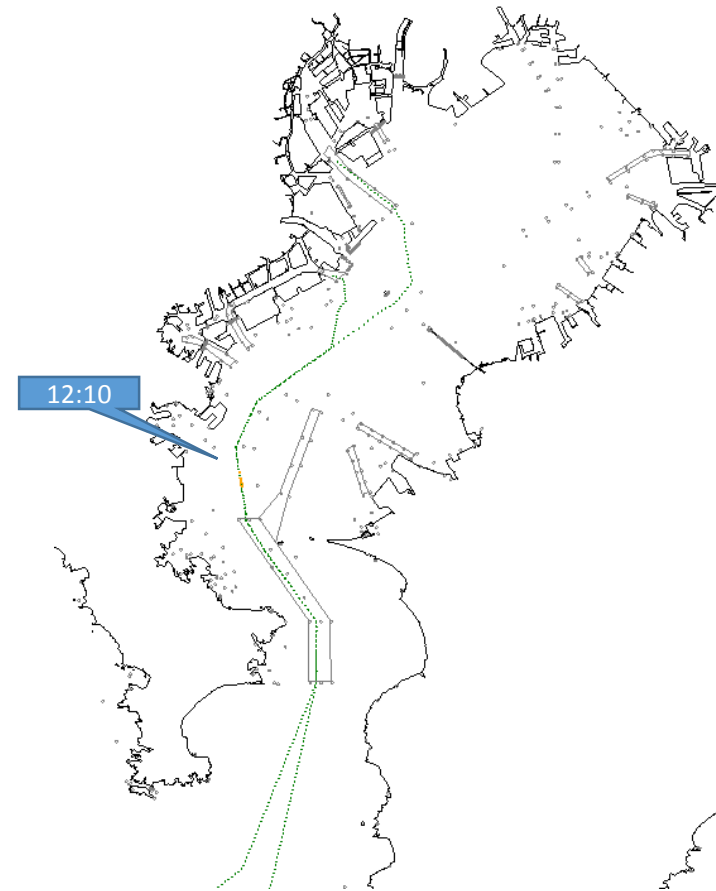
シミュレーションから得た遭遇の可能性の有るポイント



# 異なる海域で遭遇の可能性があると判断された例



実際の航跡から得た遭遇の可能性の有るポイント



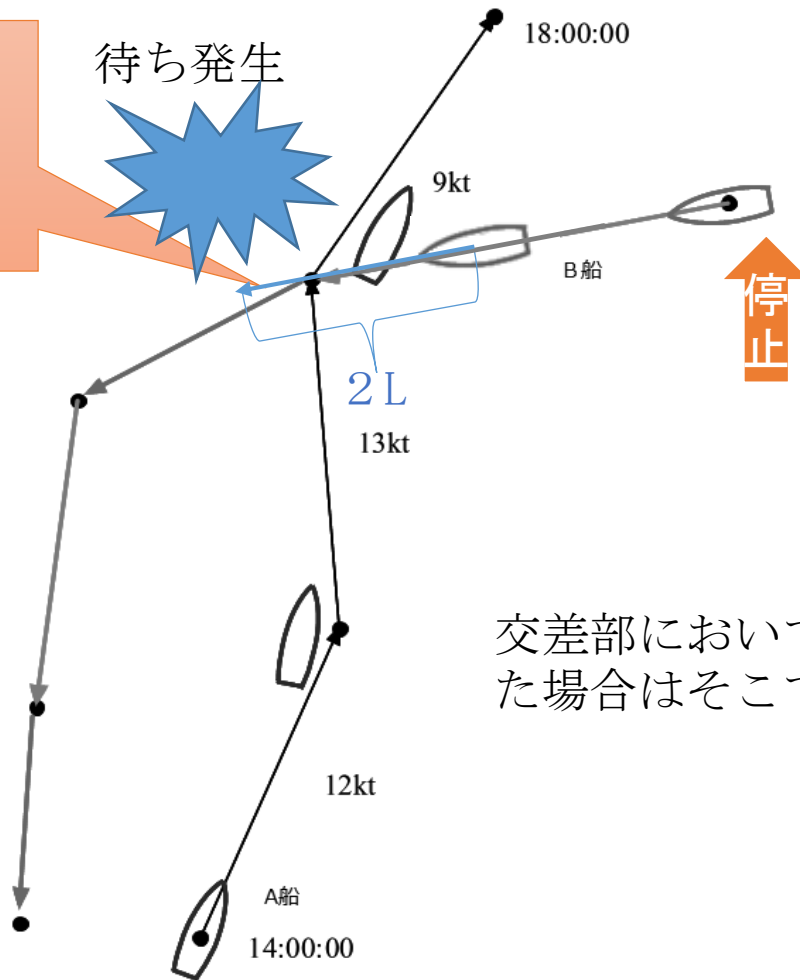
シミュレーションから得た遭遇の可能性の有るポイント

# 目次

- 背景と目的
- 基礎調査
  - 東京湾の概要
  - 船舶航行データ
- 海上交通シミュレーション
  - ネットワーク及びデータベースの作成
  - シミュレーションと実際の比較
  - 待ち行列シミュレーションによる安全性評価
- まとめと今後の課題

# 待ち行列シミュレーション概要

2船の航路が交差しているノードがあるので、この交差部で衝突の恐れが発生



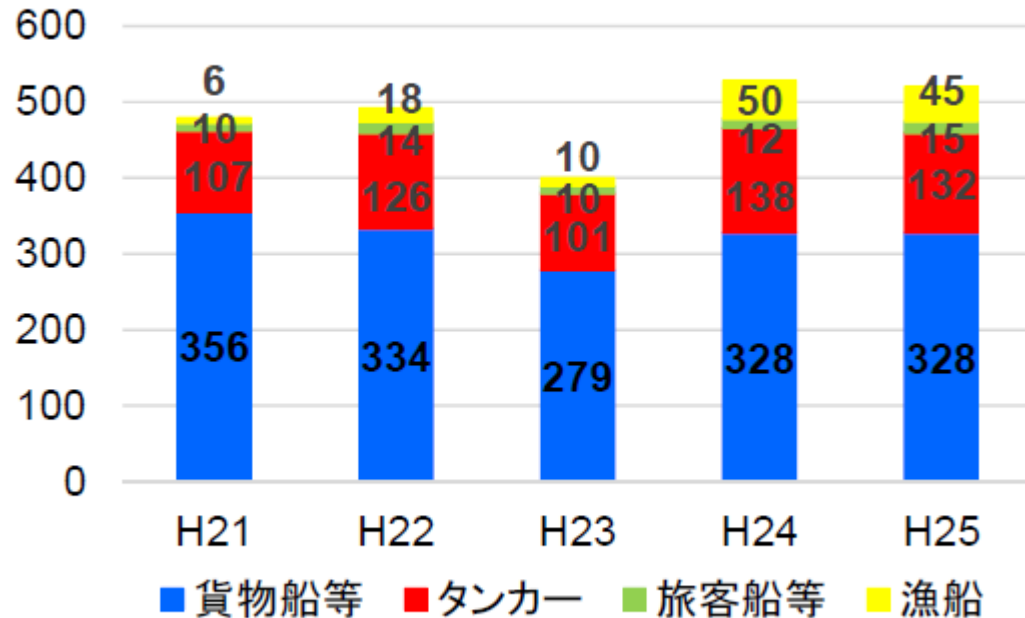
交差部において2×船体長の範囲内に他の船がいた場合はそこで停止する（待ちを発生させる）。

実際の船舶が停船することはできないが、この待ちは避航操船を行ったと仮定する。  
ここで、船の発生状況に応じて待ち状態の船舶が多くなればそれだけ危険海域と見なすことができる。  
その他の条件として、リンク間の行き会いが発生する場合には待ちを発生させていない。

# シミュレーションシナリオ

出入湾船のみを対象とした。

浦賀水道における船舶通航量(1日平均)



出典:通航船舶実態調査(海上保安庁調べ)

浦賀水道における船舶通航量  
(1日平均、海上保安庁調べ)

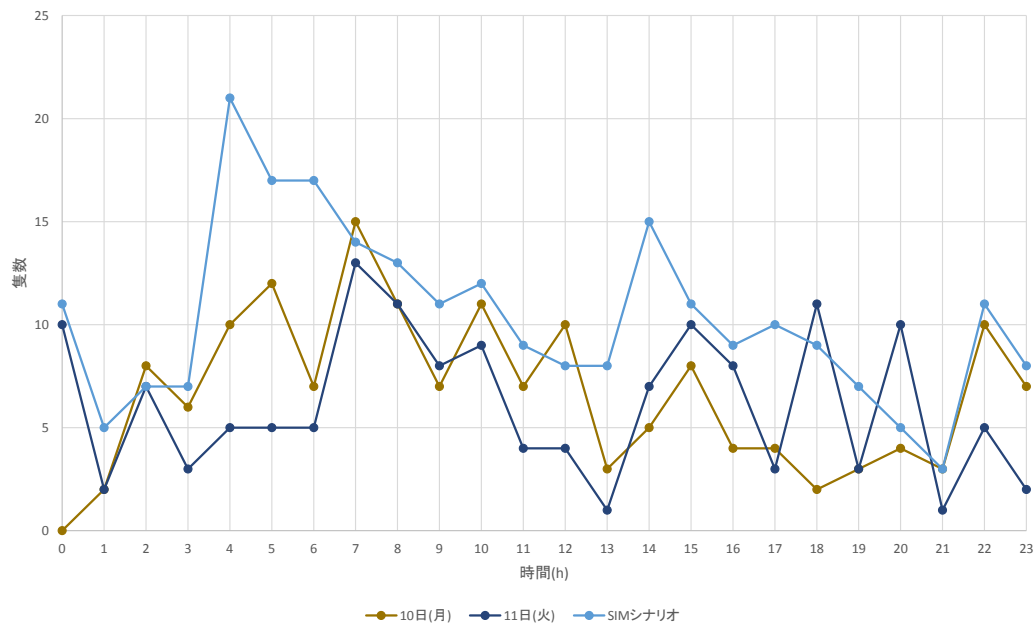
出発地/目的地別1日平均隻数  
(2013年10月1日～30日、AISデータ)

行き先	入湾船	出湾船
3	1.44	2.13
4	0	0
5	0.7	0.4
6	0.2	2.26
7	4.3	3.4
8	2.23	1.9
9	1.77	1.6
10	1.43	3.7
11	2.57	3.73
12	0.93	2.74
13	1.37	3.64
14	1.3	2.5
15	9.53	6.2
16	0.67	0.37
17	4.66	3.23
18	1.23	2.1
19	0.13	0.13
20	5.9	6.26
21	13.37	10.5
22	0.3	0.1
23	0.23	0.44
24	3.43	12.54
25	0.3	0.63
26	0.1	0.4
27	0.23	0.3
28	1.06	1.4
29	0.27	0.3
30	0.23	0.23
31	3.14	7.2
32	6.13	14.26
33	1.87	1.27
34	6.5	7.77
35	0.66	1.27
36	3.07	3.3
37	0.24	0.3
38	0.2	0.13
<b>合計</b>	<b>81.69</b>	<b>108.63</b>

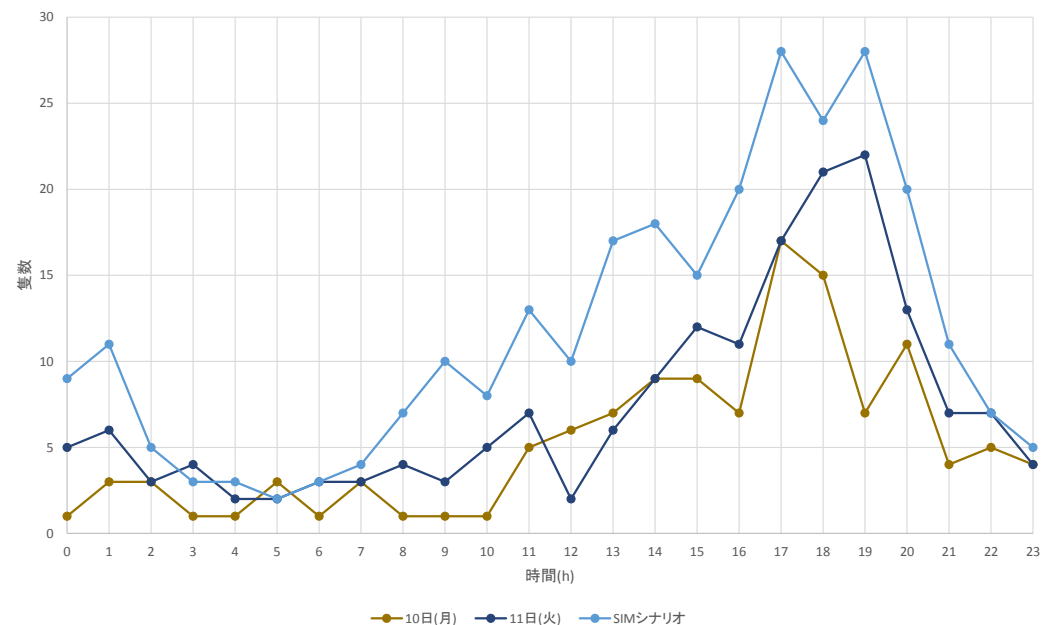
ランダムに船舶を発生

# 作成したシナリオ

作成したシナリオは1日分で、入湾船が248隻、出湾船が281隻、合計539隻である。  
実際との比較のため2008年の実態調査の浦賀水道航路南口通過時刻別の船舶隻数を示す。



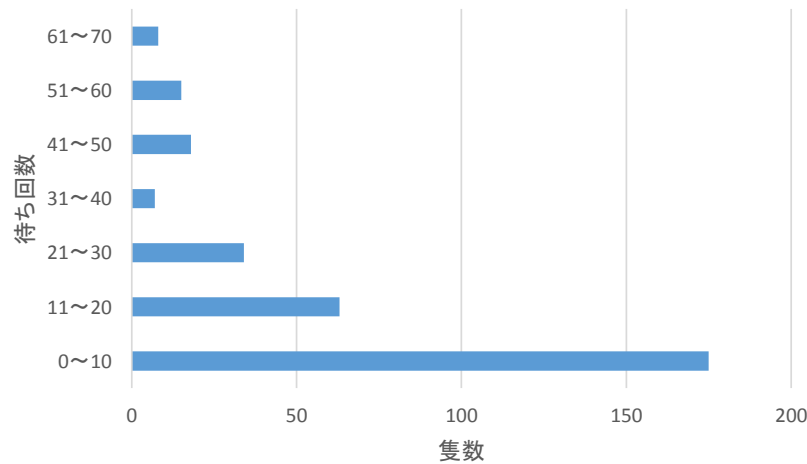
出発時刻別入湾船舶隻数  
(シミュレーションシナリオと実際の比較)



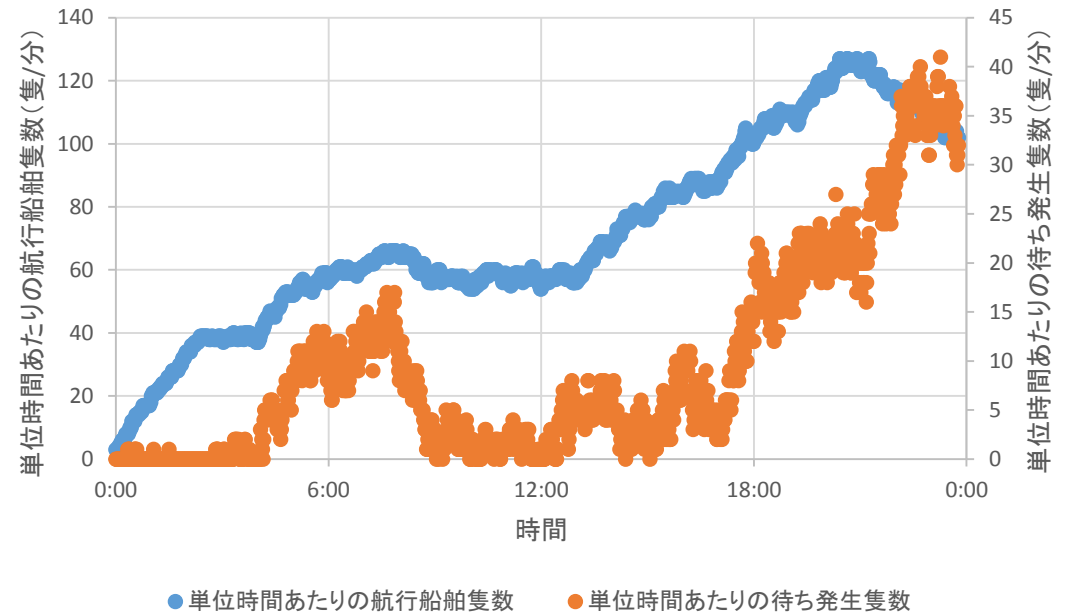
出発時刻別出湾船舶隻数  
(シミュレーションシナリオと実際の比較)

# シミュレーション結果(1)

シミュレーション船舶539隻中、324隻に待ちが発生した。待ちをカウントした対象エリアは海上交通安全法適用海域である。



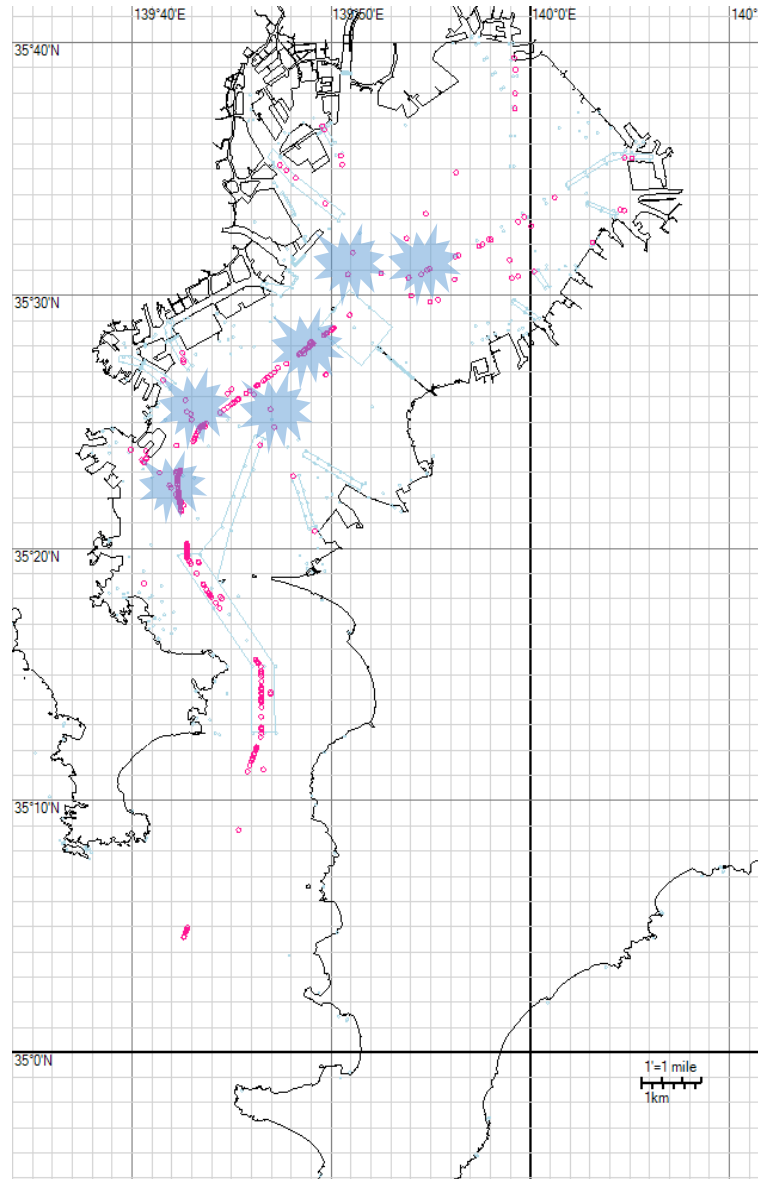
各船舶に発生した待ち回数の合計の分布



単位時間あたりの待ち発生回数及び航行船舶隻数

ほとんどの船舶が10回以下の待ち回数であった。待ちは同航船でも発生するため、待ち回数の多い船舶は横浜港等からの出港時に出湾船が数珠つなぎになっており、待ちが連続して発生していた。

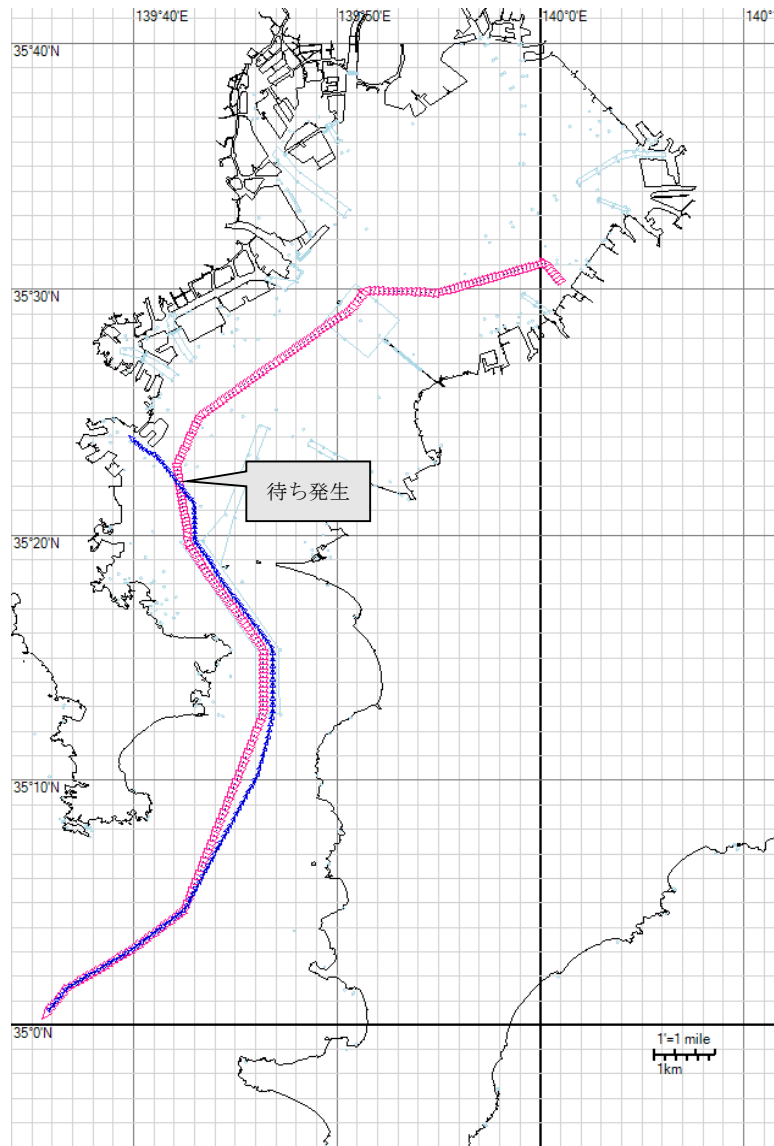
# シミュレーション結果(2)



★ 待ちが発生した海域

待ち発生位置図

# シミュレーション結果(3)



<例1>

ピンク色の線：千葉港（姉崎航路）から東京湾口へ向かう出湾船

中型船、7:16出発、待ち回数7回

青色の線：東京湾口から横浜港（根岸・磯子・金沢地区）へ向かう入湾船

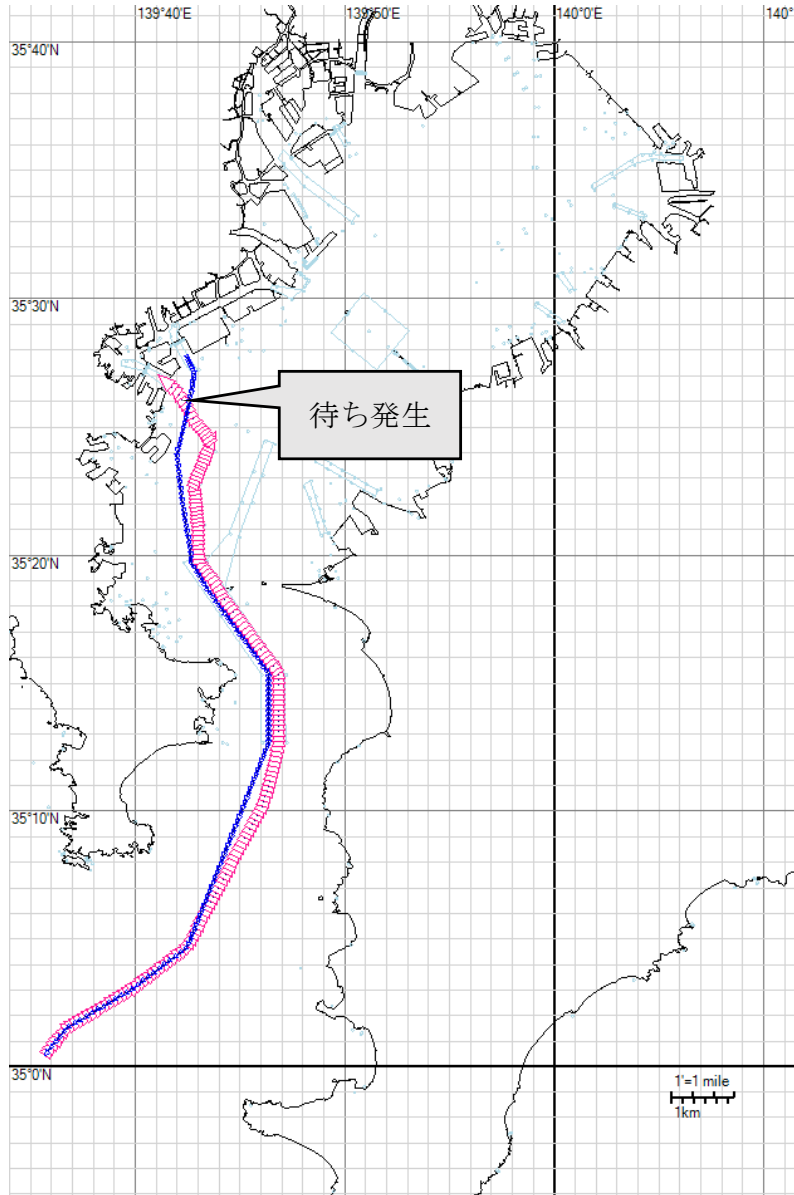
小型船、7:30出発、待ち回数0回

待ち発生時間：9:19

待ち発生ノード：236



# シミュレーション結果(4)



<例2>

ピンク色の線：東京湾口から横浜港（横浜航路）へ向かう入湾船

大型船、7:10出発、待ち回数4回

青色の線：横浜港（鶴見航路）から東京湾口へ向かう出湾船

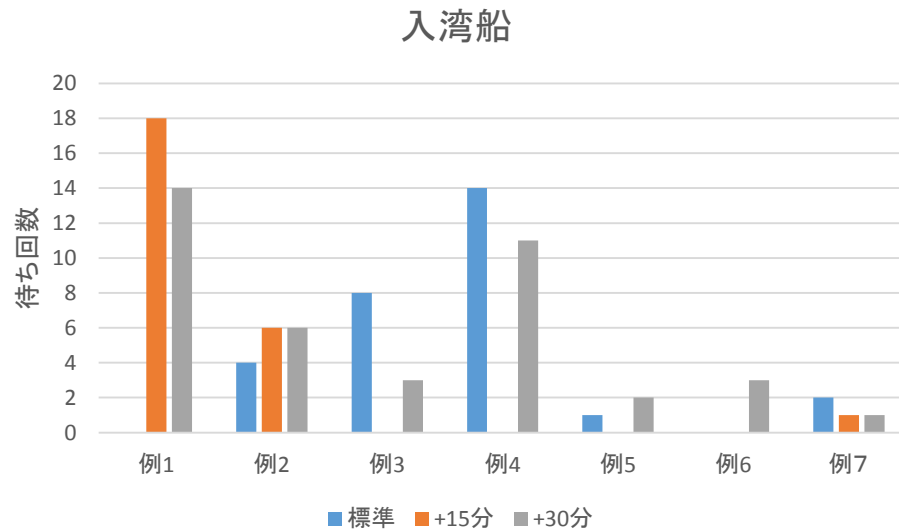
小型船、10:19出発、待ち回数0回

待ち発生時間：10:37

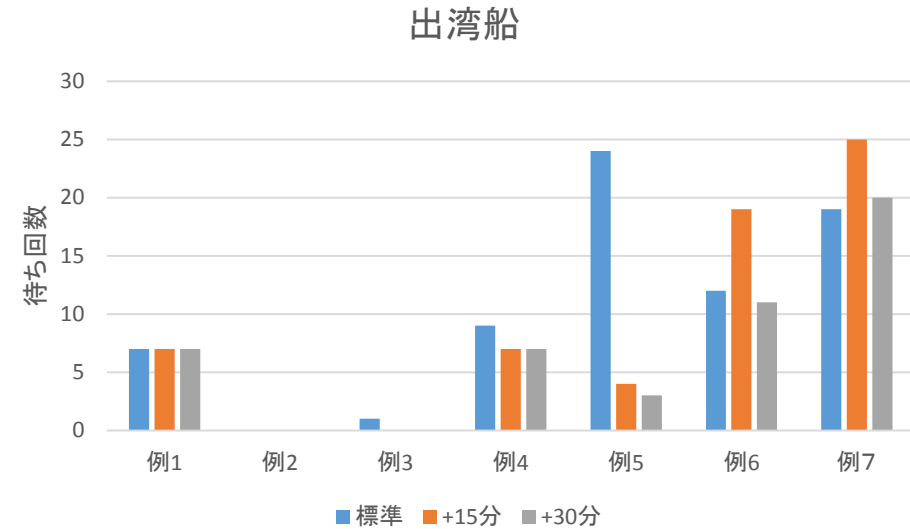
待ち発生ノード：242

# シミュレーション結果(10)

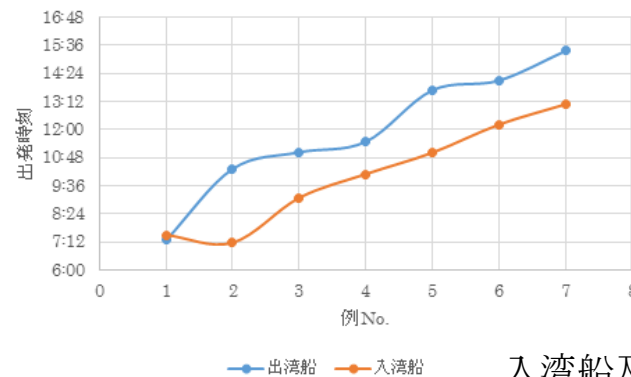
7隻（例1～例7）の入湾船に対して、入湾時間を15分遅らせた場合と30分遅らせた場合の入湾船の待ち回数を左図に示す。また、入湾船を遅らせたことによる出湾船の待ち回数の変化を右図に示す。は下の図に示すとおり出湾船の出発時刻が早い順番である。



入湾船の待ち回数の変化



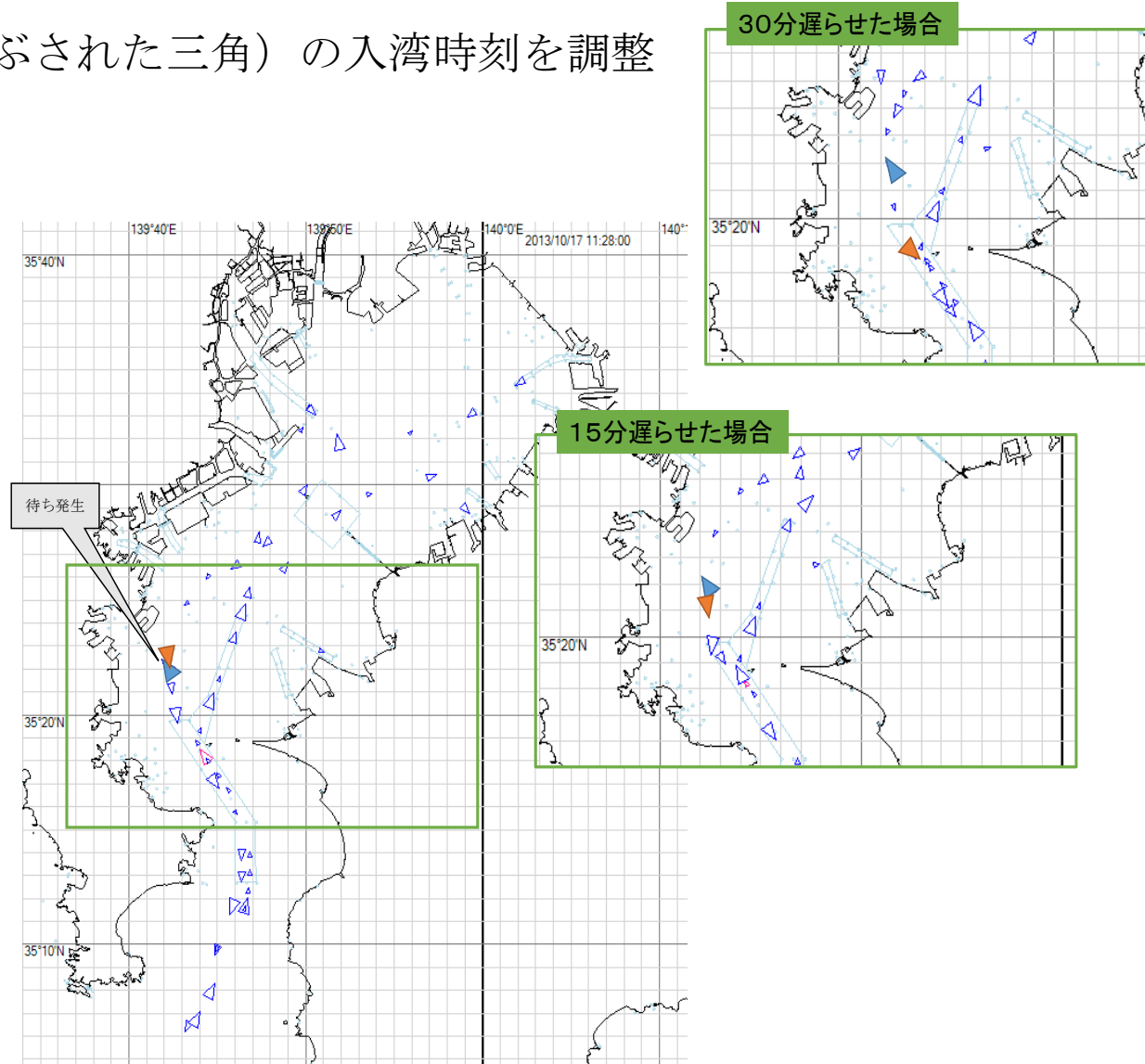
出湾船の待ち回数の変化



入湾船及び出湾船の出発時刻設定

# シミュレーション結果(11)

入湾船（図中青色で塗りつぶされた三角）の入湾時刻を調整



特定船舶同士の遭遇解消の様子（例2）

# 目次

- 背景と目的
- 基礎調査
  - 東京湾の概要
  - 船舶航行データ
- 海上交通シミュレーション
  - ネットワーク及びデータベースの作成
  - シミュレーションと実際の比較
  - 待ち行列シミュレーションによる安全性評価
- **まとめと今後の課題**

# まとめ

1. 海上交通ネットワークを作成
  - AISの目的地コード等の情報を基に航路を推定
  - ネットワーク・シミュレーションを用いて東京湾内の交通流を再現
2. ネットワーク・シミュレーションにおける計画航路の設定
  - 船型に応じた計画航路を設定
  - 特に大型船の航路について精度良く再現
3. ネットワーク・シミュレーションにおける速力の設定
  - 速力制限が設けられている浦賀水道航路及び中ノ瀬航路内では精度よく予測することができたが、他の海域においては実時刻での現在位置を基に更新、再演算を行うことが必要
4. ネットワーク・シミュレーションに多様な遭遇船舶の判定方法を付加
  - 短時間で船舶の遭遇の可能性の有無を推定
5. ネットワーク・シミュレーションに待ち行列の機能を付加し、待ち回数を用いて安全性の評価
  - 入湾時刻調整により、特定船舶同士の待ちは解消されることを確認
  - 危険な見合い関係を減少させることで安全性を向上

# 今後の課題

今後、東京湾の海上交通シミュレーションによる安全性評価には下記の課題を検討していく必要がある。

1. 東京湾では錨泊するために入湾する船舶や湾内を移動する船舶が多く、このような入出湾以外の船舶への対応も考慮する必要がある。
2. 本研究ではウェイポイント間の速力について、大きさ別に設定したものの、一定値として扱っている。船舶交通流再現の高精度化（計画航路、速力設定の変更など）を図る必要がある。
3. 遭遇船舶の判定方法について、CPA以外にも効果的な判定方法を検討すべきである。
4. 実務で使用するためにはリアルタイムへの対応が必要とされる。

## 謝辞

本研究にご協力いただきました海上保安庁様、(公社)日本海難防止協会様に深く御礼申し上げます。

# 東京湾海上交通流の特徴

## 東京湾内の航路外の海域における航法示す。

(資料:海上保安庁新たな制度による船舶交通ルール<平成22年7月1日より施行>(港則法及び海上交通安全法の一部を改正する法律の施行について))

### 【東京沖灯浮標付近海域】

東京沖灯浮標が設置されている地点を中心とした半径1,850メートル(約1海里)の円内海域(港則法の港の区域を除く。)を通過して航行する船舶は、同地点を左げんに見て航行すること

対象船舶：下図に示す円内海域を航行する船舶



### 【木更津港沖灯標付近海域】

A線を横切った後、B線を横切って航行しようとする船舶は、木更津港沖灯標が設置されている地点を左げんに見て航行すること

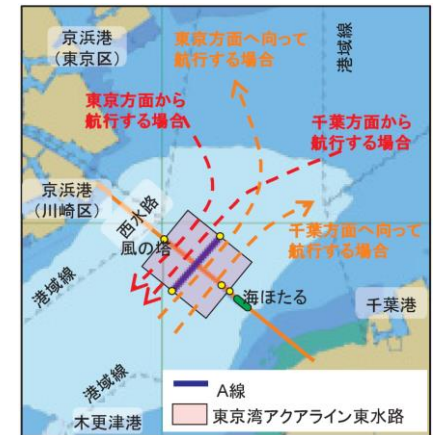
対象船舶：木更津港を出港する船舶



### 【東京湾アクアライン東水路付近海域】

- ①東京湾アクアライン東水路を南の方向に通過航行する船舶は、
  - ・A線の西側の海域を航行すること
  - ・千葉方面から航行するときは、A線に近寄って航行すること
  - ・東京方面から航行するときは、A線から遠ざかって航行すること
- ②東京湾アクアライン東水路を北の方向に通過航行する船舶は、
  - ・A線の東側の海域を航行すること
  - ・千葉方面に向って航行するときは、A線から遠ざかって航行すること
  - ・東京方面に向って航行するときは、A線に近寄って航行すること

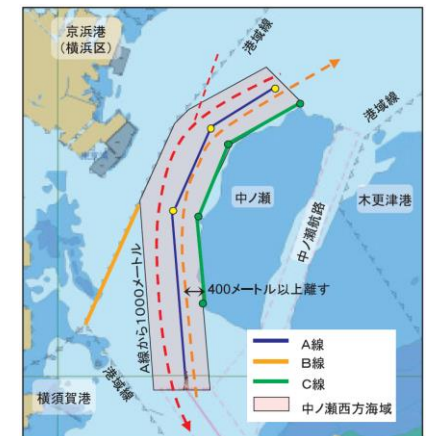
対象船舶：東京湾アクアライン東水路を航行する船舶



### 【中ノ瀬西方海域】

- ①中ノ瀬西方海域をこれに沿って南の方向に航行する船舶は、A線の西側の海域を航行すること
- ②中ノ瀬西方海域をこれに沿って北の方向に航行する船舶(B線を横切って航行し、B線の西側の海域に向けて航行しようとする船舶は除く。)は、
  - ・目的港の港域に入るため針路を転じるまでの間、A線の東側の海域を航行すること
  - ・喫水20メートル以上の船舶は、C線から中ノ瀬西方海域の内側に400メートル以上離れた海域を航行すること

対象船舶：中ノ瀬西方海域を航行する船舶





# これまでの研究

1960年代

- 日本における本格的な船舶航行実態調査が初めて行われた(明石海峡交通調査)
- 各地の狭水道の交通量や時間変動、速力分布などの観測結果が報告

1970年代

- 特に船舶の輻輳する海域である東京湾、伊勢湾、瀬戸内海においてもレーダや目視による交通調査が行われる
- 1972(S47)年 海上交通安全法施行 、 1977(S52)年 東京湾海上交通センター運用開始

1980年代

- 電子計算機の発達等により海上交通シミュレーションが数多く開発される
- 船舶航行実態の観測によって得られた観測データの典型的な解析法を確立

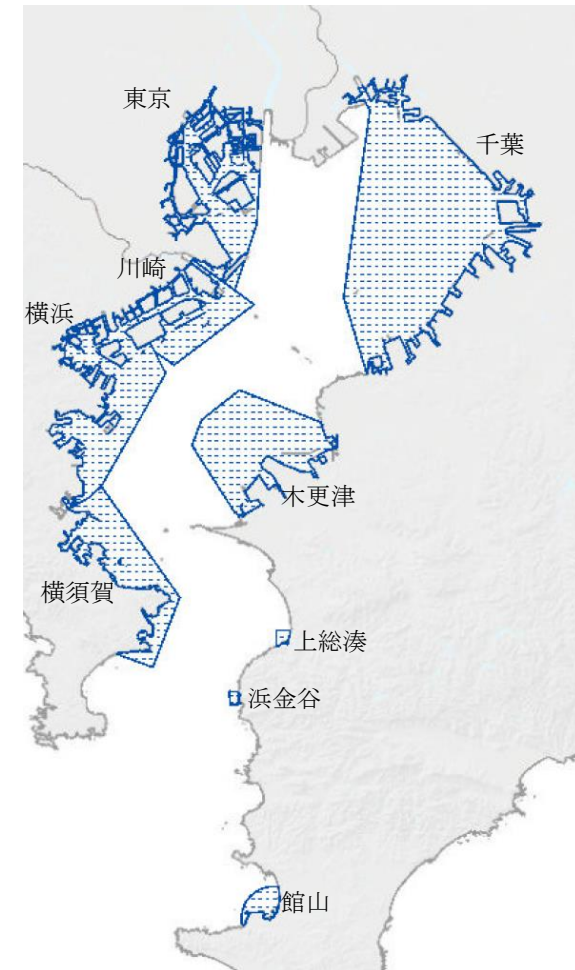
2000年～

- AISを利用して陸上で様々な研究が行われている

# 東京湾の主なけい留施設数

- 東京湾内の主要港（東京港、横浜港、川崎港、千葉港、木更津港、横須賀港）の岸壁数（総トン数が約500トンより大きい船舶を対象とした係留施設）を港湾統計より調査した。
- 合計1154バース

港	岸壁数
東京港	186
横浜港	242
川崎港	179
千葉港	434
木更津港	65
横須賀港	48



東京湾港湾区域（資料：海洋台帳）

# 東京湾の入港船舶数

- 東京湾内の主要港（東京港、横浜港、川崎港、千葉港、木更津港、横須賀港）の入港船舶数を港湾統計より調査した。
- 港湾統計では総トン数5t以上の入港船舶を調査対象としている。

	隻／年	平均隻数／日	割合(%)
東京港	23997	65.7	14.6
横浜港	35979	98.6	21.9
川崎港	22650	62.1	13.8
千葉港葛南区	11629	31.9	7.1
千葉港千葉港区	36501	100	22.2
木更津港	17621	48.3	10.7
横須賀港	15815	43.3	9.6
合計	164192	449.9	100

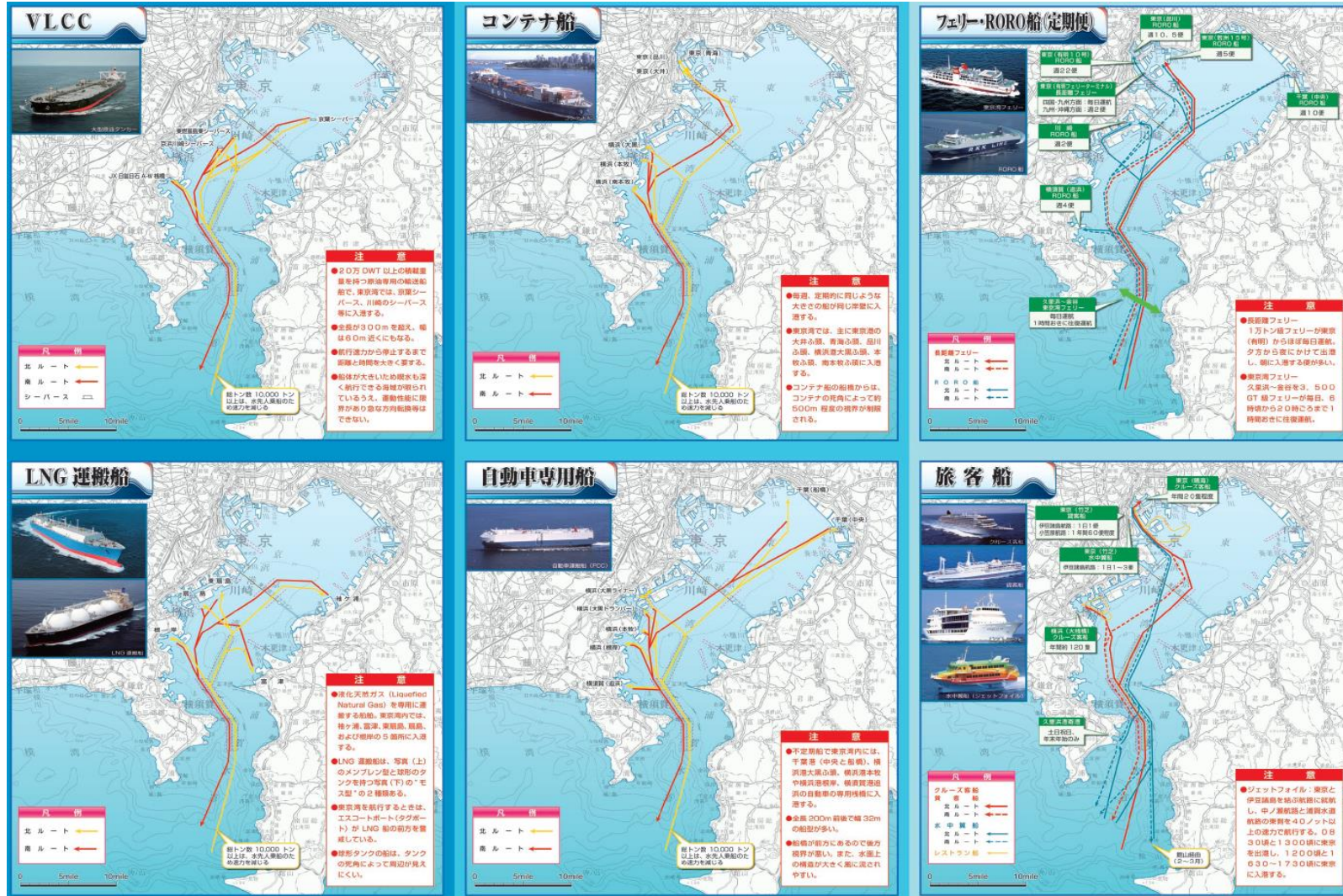
(例) 東京港の船種船型別入港船舶数

	隻／年	平均隻数／日	割合(%)
～500トン未満	10833	29.7	45.1
500～10000トン未満	8979	24.6	37.4
10000トン以上	4185	11.5	17.4
合計	23997	65.7	100

	隻／年	平均隻数／日	割合(%)
一般船舶	17171	47	71.6
危険物船舶	2385	6.5	9.9
その他の船舶	4441	12.2	18.5
合計	23997	65.7	100

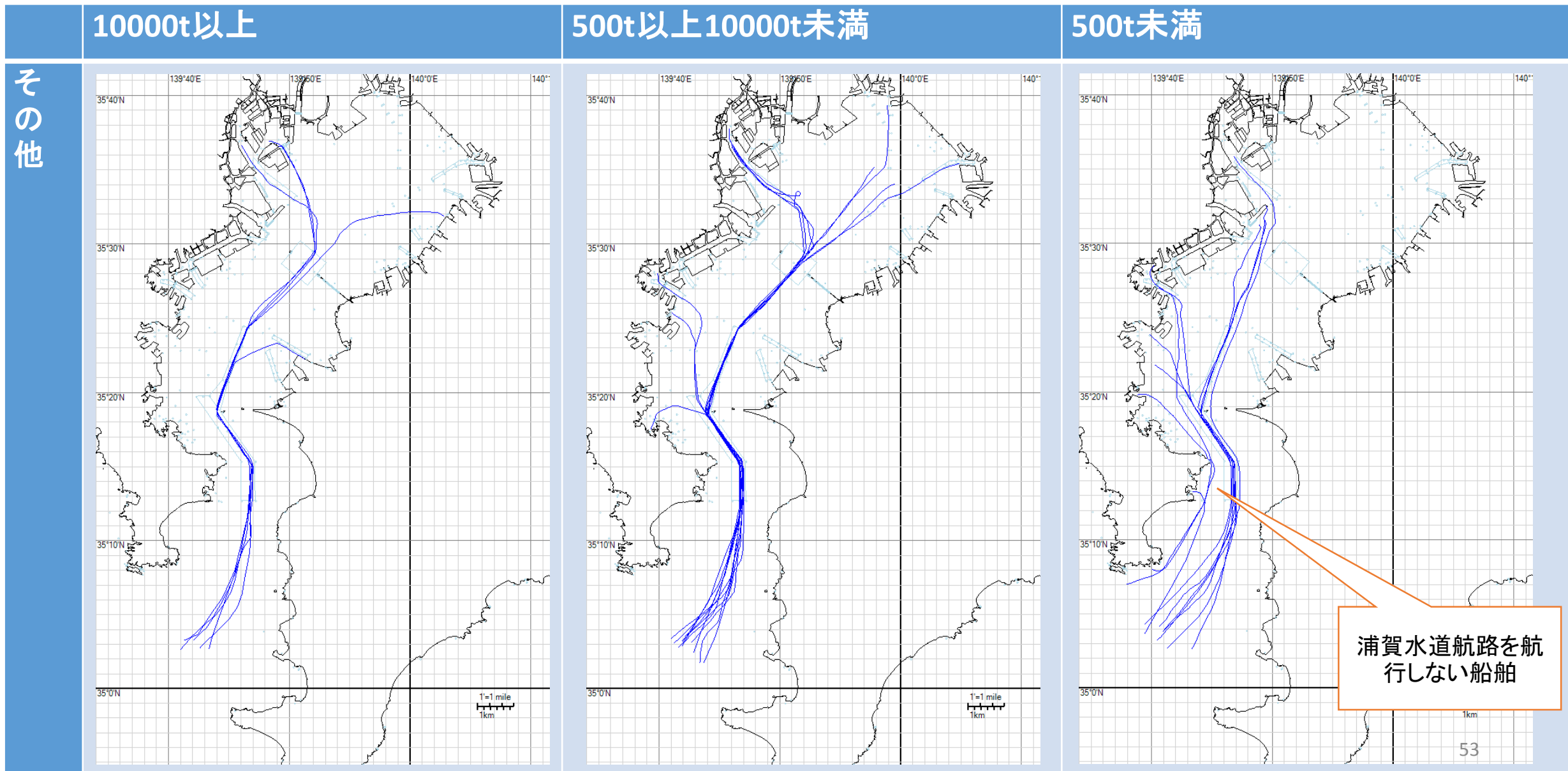
# 商船航行情報

- 代表的な商船の航行情報がわかりやすくまとめられている



# 実態調査データを用いた交通流解析(5)

東京湾入湾船の航跡(3)



浦賀水道航路を航行しない船舶

# 実態調査データを用いた交通流解析(7)

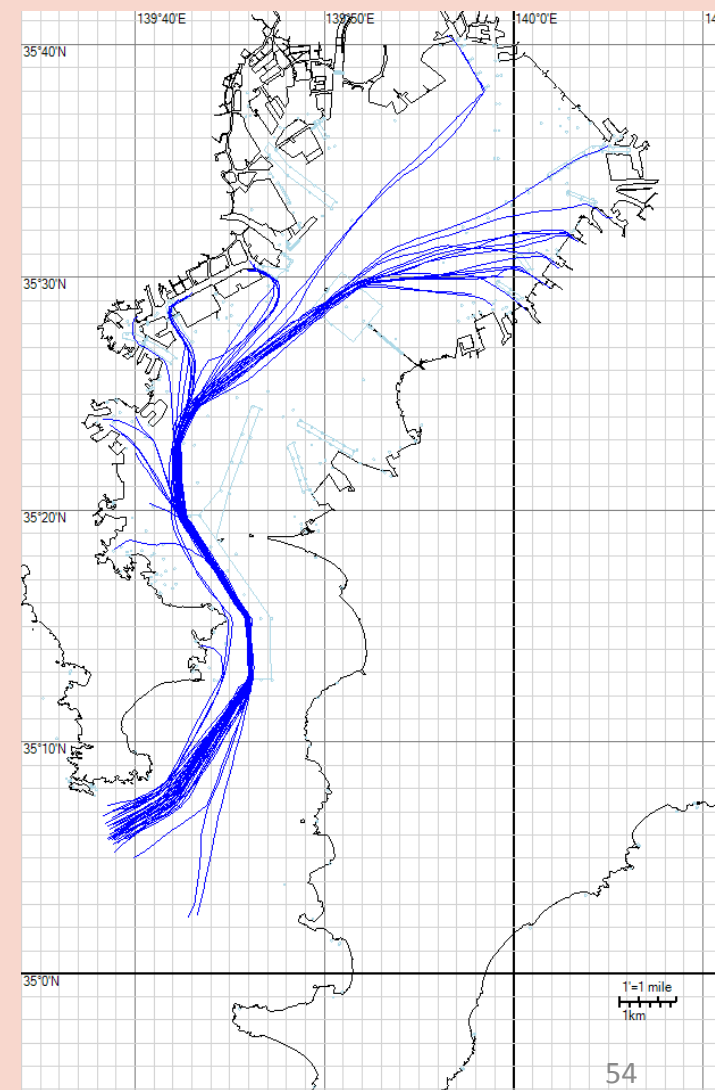
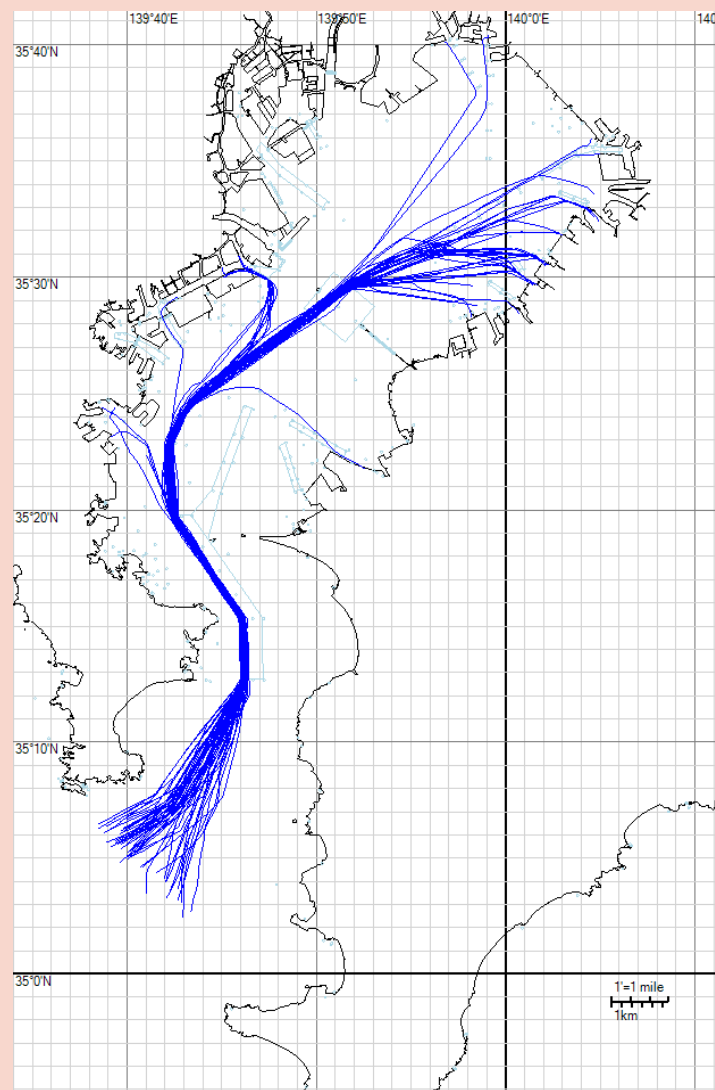
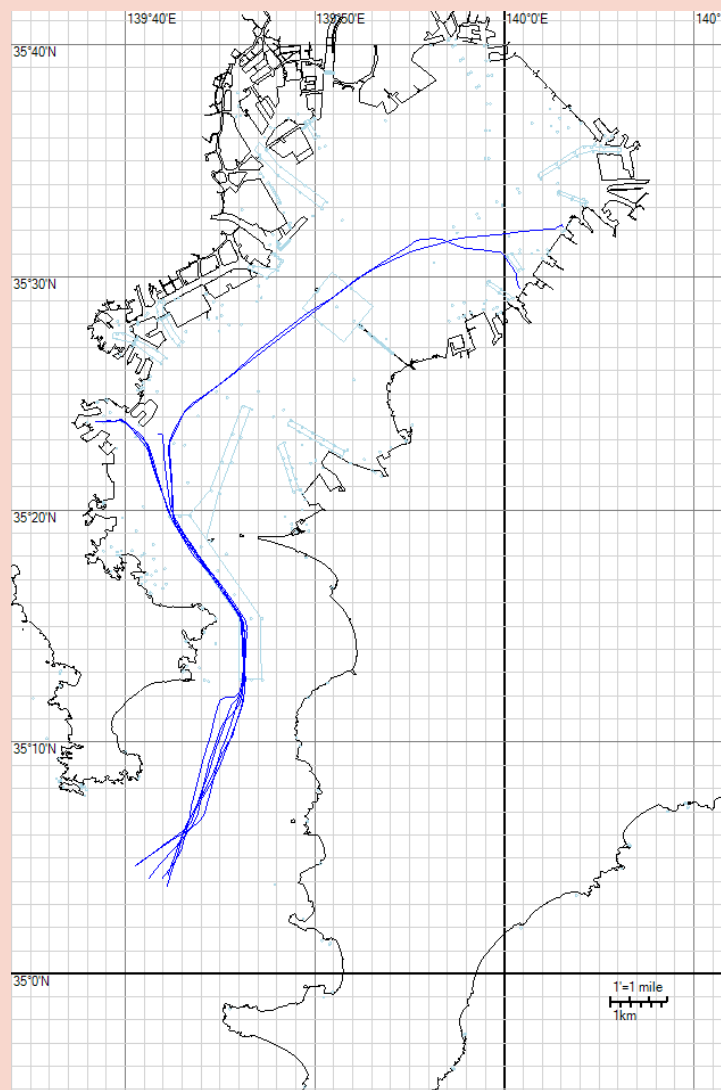
東京湾出湾船の航跡(2)

10000t以上

500t以上10000t未満

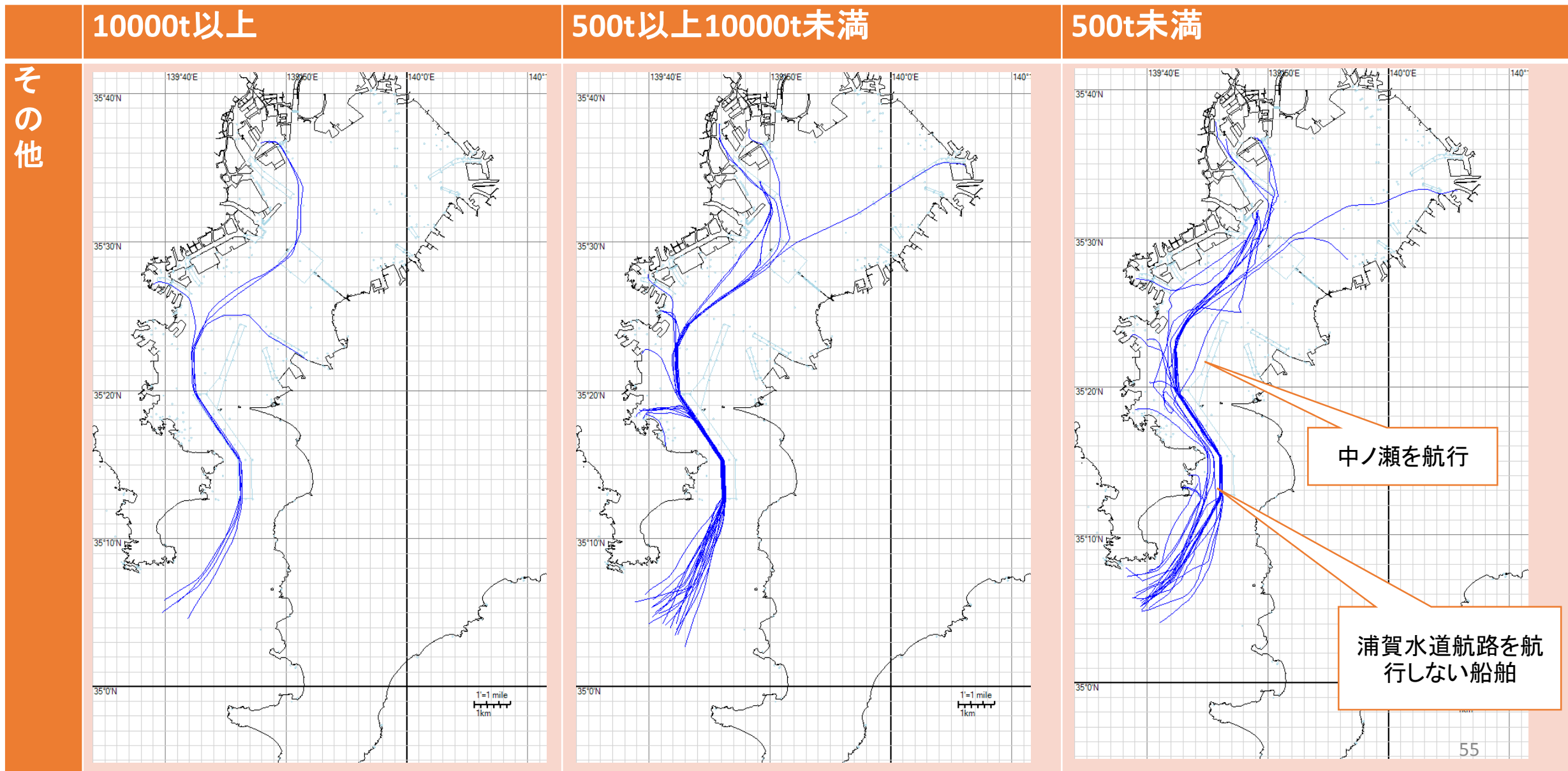
500t未満

危険物積載船



# 実態調査データを用いた交通流解析(8)

東京湾出湾船の航跡(3)

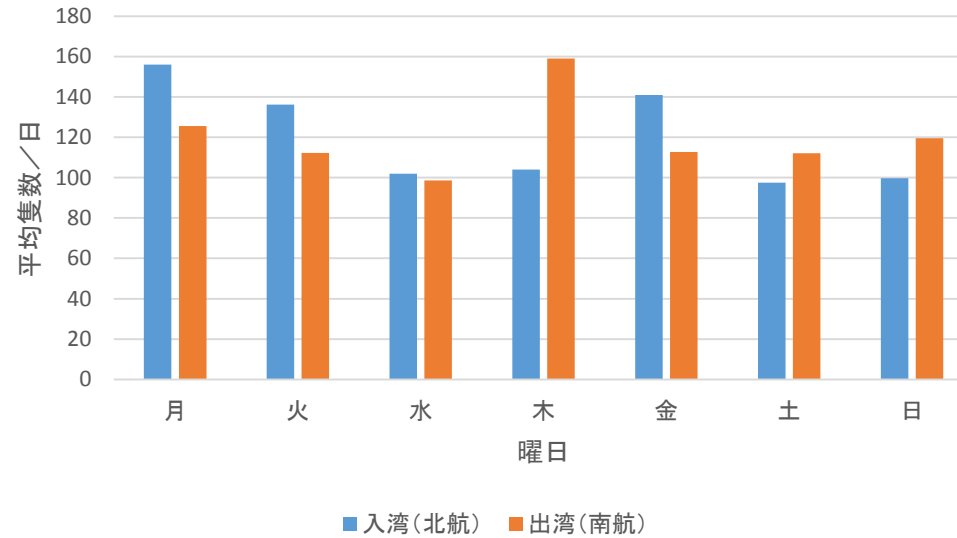


中ノ瀬を航行

浦賀水道航路を航行しない船舶

# AISデータを用いた交通流解析(6) 2013年10月1日～30日の解析結果。

## 曜日別平均入出湾隻数



水曜日や土曜日、日曜日に入湾する船舶は少なく、月曜日に多くなっている。出湾する船舶のピークが木曜日に現れている。

## 曜日別入出湾隻数

	合計		入湾(北航)		出湾(南航)	
	隻数	平均隻数/日	隻数	平均隻数/日	隻数	平均隻数/日
月	1126	281.5	624	156	502	125.5
火	1242	248.4	681	136.2	561	112.2
水	1003	200.6	510	102	493	98.6
木	1052	263	416	104	636	159
金	1015	253.75	564	141	451	112.75
土	838	209.5	390	97.5	448	112
日	877	219.25	399	99.75	478	119.5



# AISデータを用いた交通流解析(1)

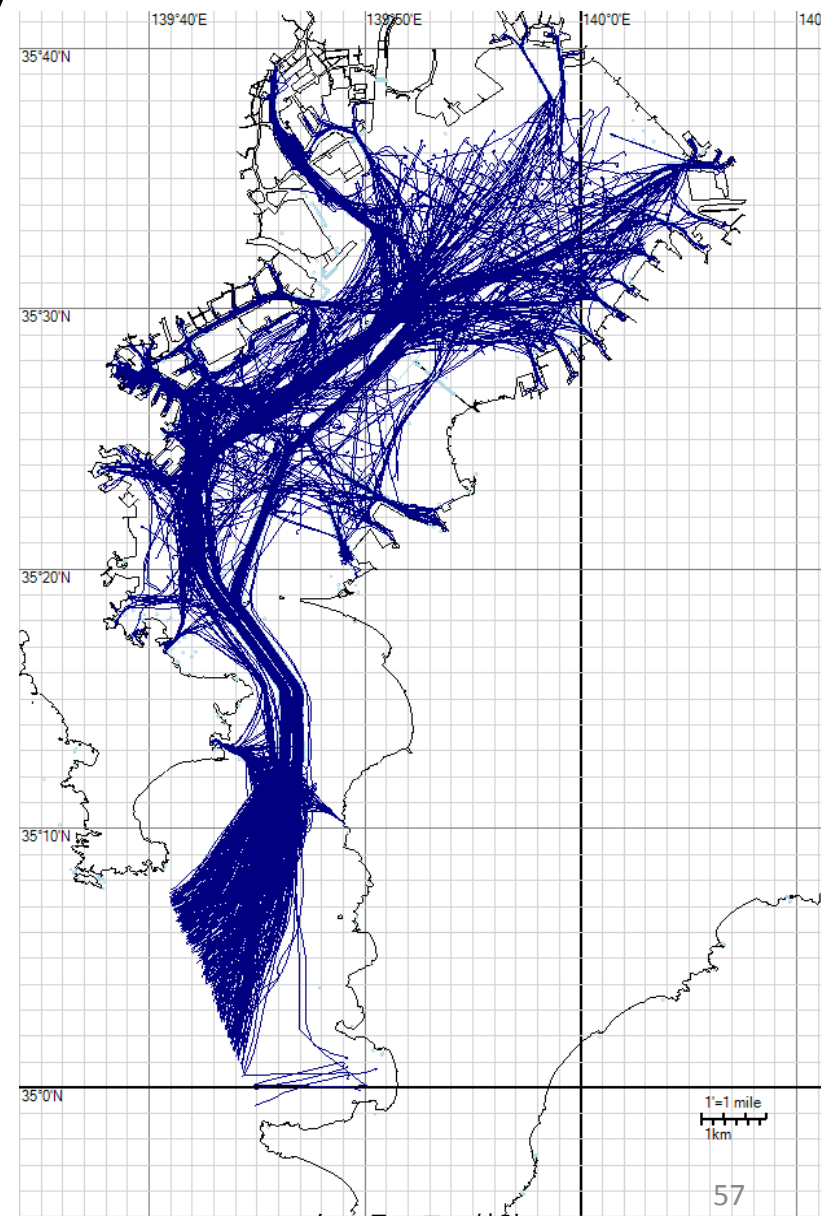
2013年10月17日(木) (晴天) の1日分の解析結果。

存在した船舶の船種・船型別隻数

	一般船舶	危険物船舶	その他	不明	合計
50m未満	0	0	90	1	91
50m以上80m未満	74	91	11	8	184
80m以上160m未満	156	80	13	3	252
160m以上	56	16	6	0	78
不明	1	0	0	3	4
合計	287	187	120	15	609

単位時間あたり (1分) に存在する  
平均船舶隻数 (データ数÷(60×24))

	一般船舶	危険物船舶	その他	不明	合計
50m未満	0	0	79.4	1	80.4
50m以上80m未満	34.3	45.1	7.8	4.8	92
80m以上160m未満	86.2	50	9.6	1.1	146.9
160m以上	24.2	7.5	4.3	0	36
不明	0.5	0	0	1.3	1.8
合計	145.2	102.6	101.1	8.2	357.1



# AISデータを用いた交通流解析(2)

2013年10月17日(木) (晴天) の1日分の解析結果。

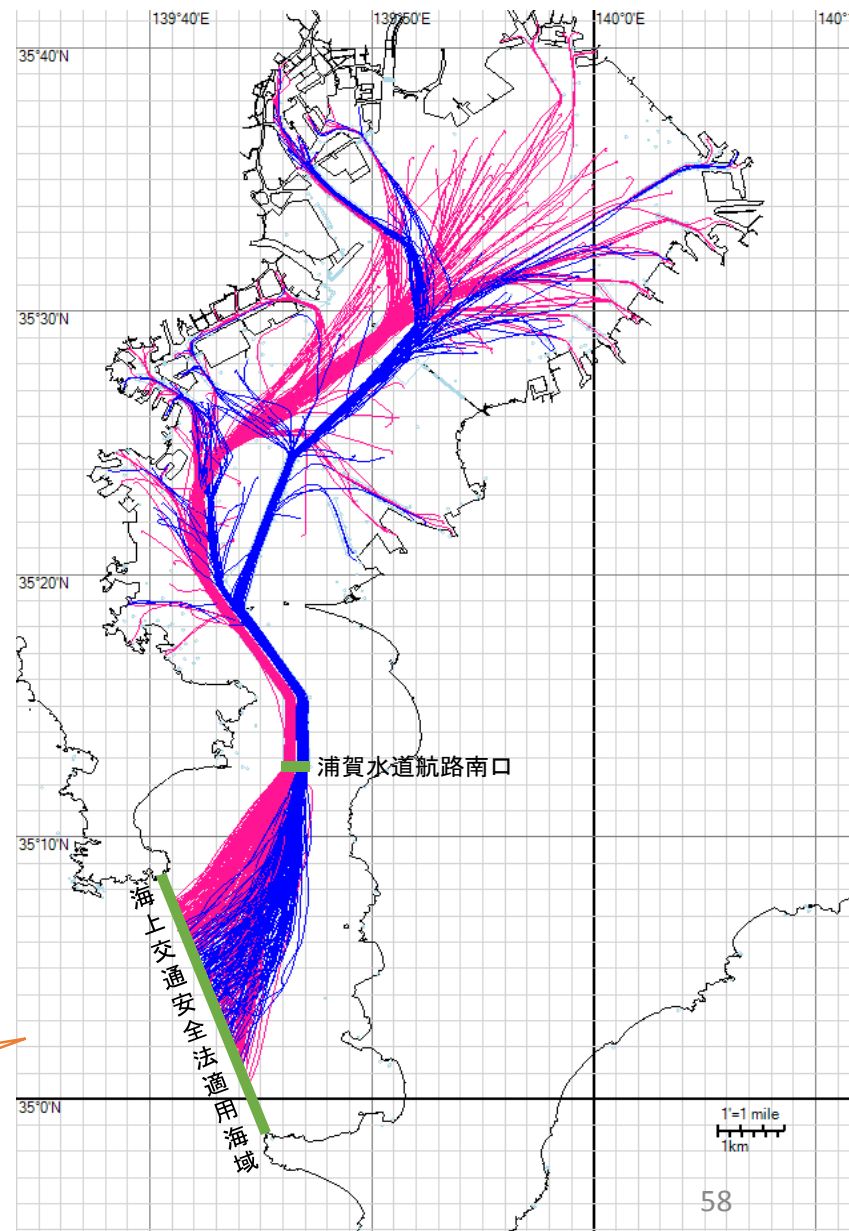
2つのライン (図の黄緑線) を通過した船舶について解析

ゲートラインを通過した船舶：321隻 (トリップ)

うち出湾船202隻、入湾船119隻

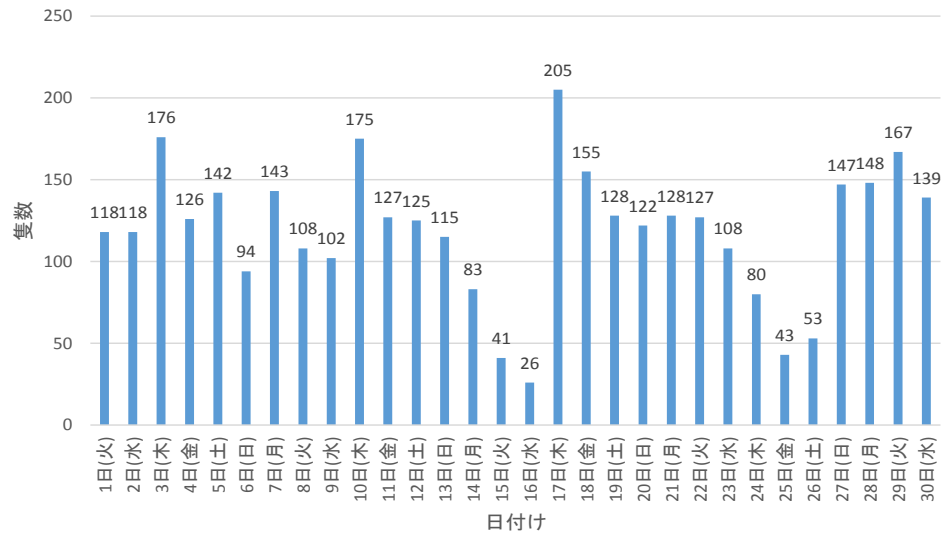


入湾する船舶の方が出湾する船舶より少ないが、これは前日に台風の影響で関東地方が暴風域であったためと考えられる。

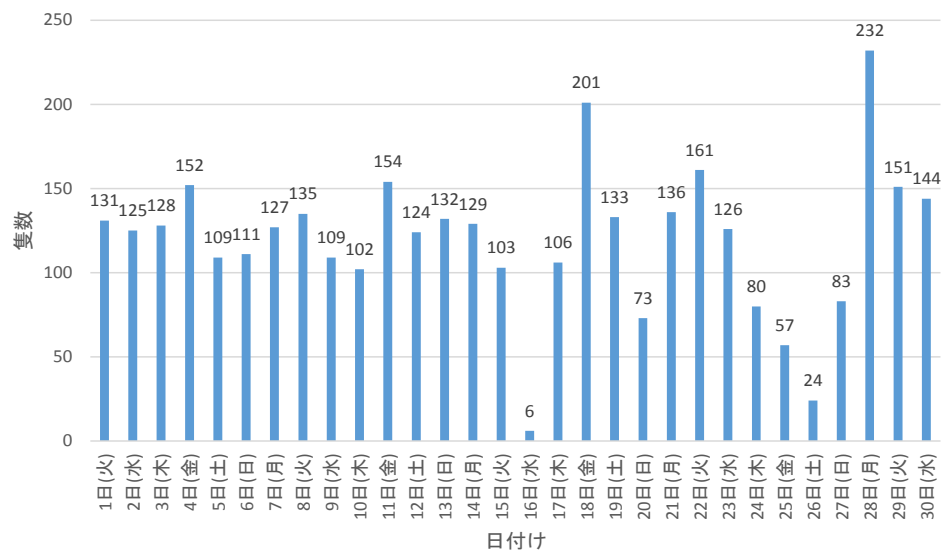


2つのゲートラインを通過した船舶の航跡  
ピンク色：出湾 (浦賀水道航路を南航) する船舶  
青色：入湾 (浦賀水道航路を北航) する船舶

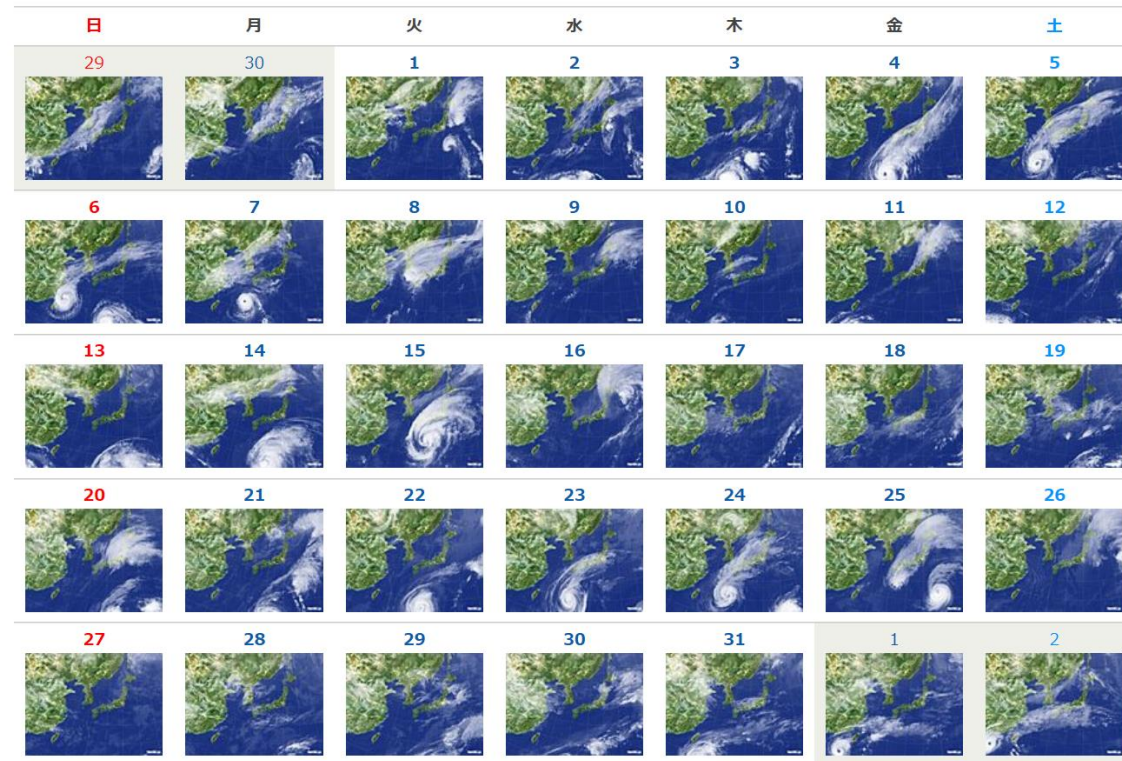
# AISデータを用いた交通流解析(5) 2013年10月1日～30日の解析結果。



日付別出湾（浦賀水道航路を南航）船舶隻数（2013年10月）



日付別入湾（浦賀水道航路を北航）船舶隻数（2013年10月）

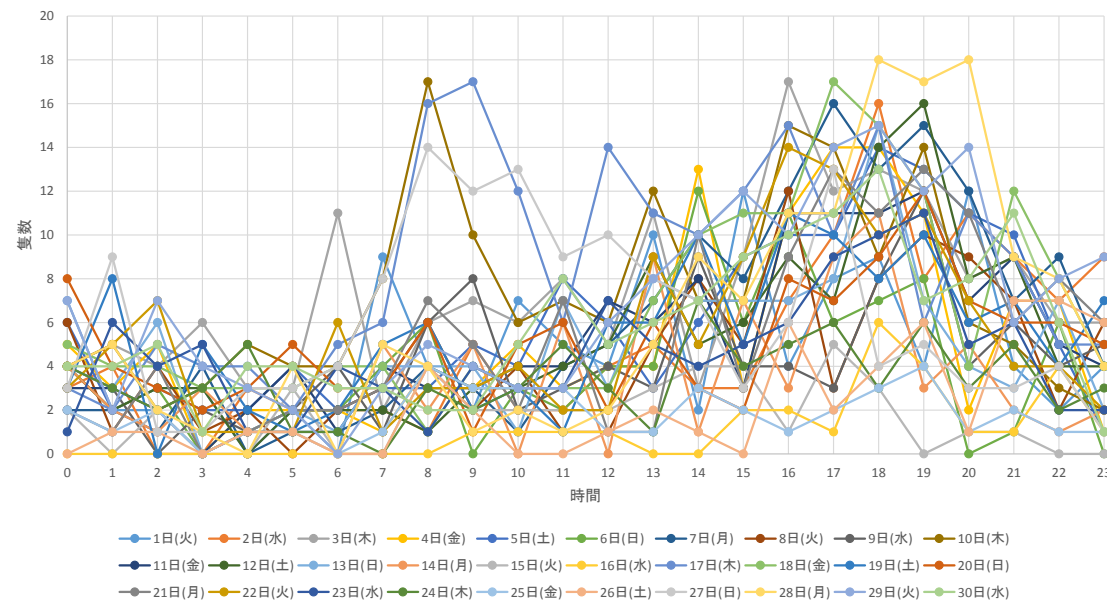
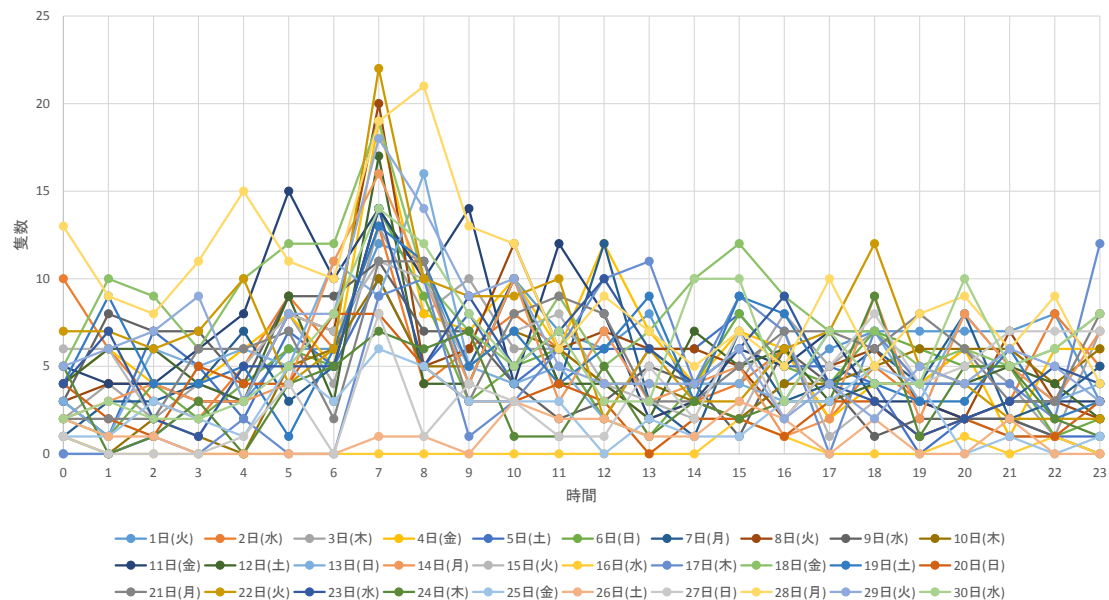


気象衛星画像カレンダー（2013年10月）  
資料：日本気象協会HP

# AISデータを用いた交通流解析(7) 2013年10月1日～30日の解析結果。

時間は浦賀水道南口のゲートラインを通過した時の時刻

2013年10月  
 日出  
 1日 5時半頃、31日 6時頃  
 日入り  
 1日 17時半頃、31日 16時45分頃



入湾船は7時頃に最も多く、出湾船は13時以降、増加している

# 先行研究

・ 東京湾における管制一元化に係る調査研究報告書  
・ (公社)日本海難防止協会、平成28年3月

- ネットワーク・シミュレーションを用いて船舶交通の混雑が予想される時間帯の船舶(最も「待ち」を発生させている船舶)の入出航時の通航編成を管理することにより、待ち時間もしくは追い越し回数等の評価を行っている。



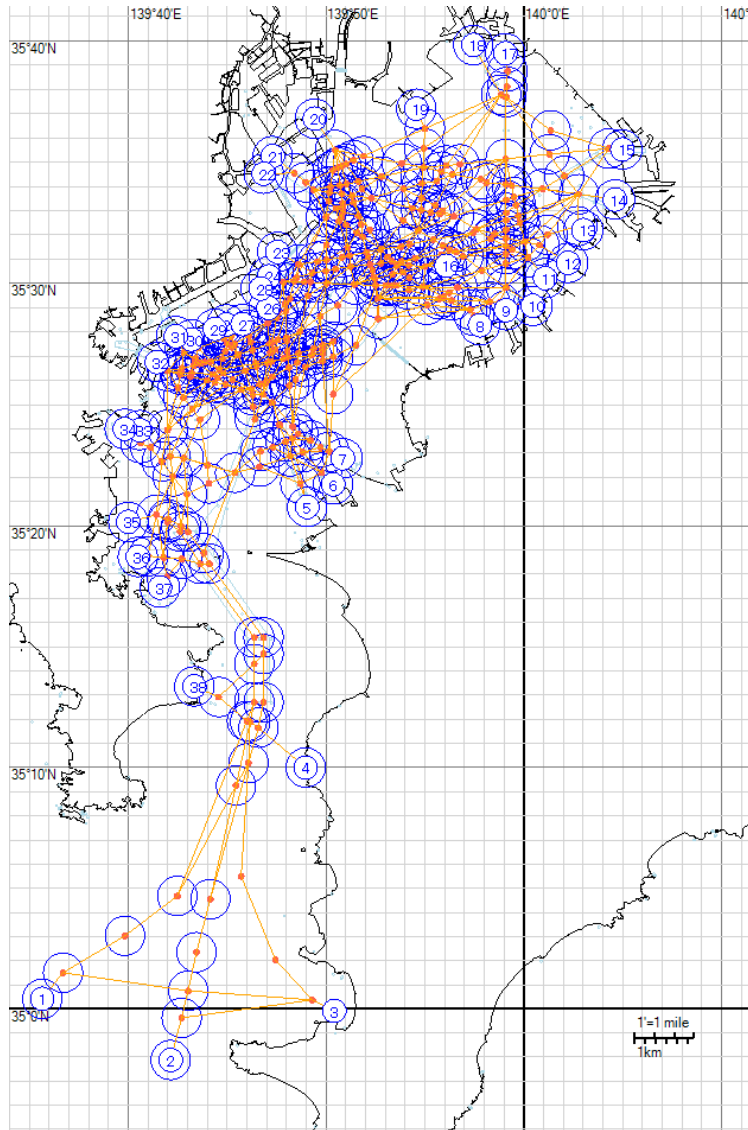
- 船舶の通航編成の管理方法によっては、待ち時間や追い越し回数が減少しない場合も見られた
- 「待ち行列シミュレーションでは追い越し時における待ち時間発生箇所ではか交差危険度のカウントができないこと」など、シミュレーション上でもとめられる結果に限界があることも判明した。
- 課題を残すものの、策定された船舶交通流のシミュレーションモデル及び調査結果については、新東京湾海上交通センターの運用面で、より効果的な航行管制のための素材として十分に活用できることが確認できた。

混雑時に限らず、実際の交通状況に合わせた船舶交通流を作成し、危険な交差の見られる船舶を対象に、入湾時刻の変更を行い、待ち回数により船舶の安全性を評価

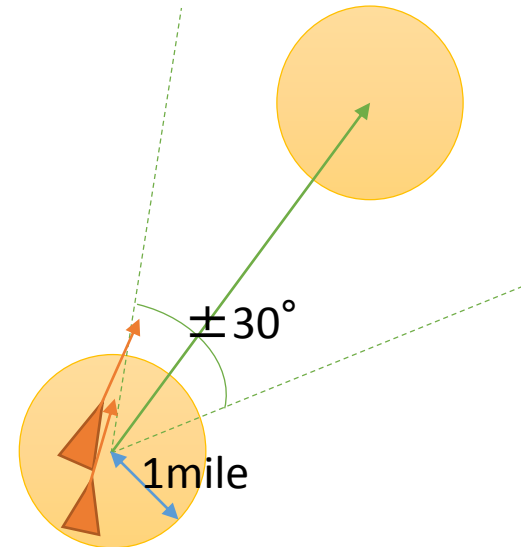
CPAやバンパーモデルを用いて船舶の遭遇の可能性の有無を判定し、実際とシミュレーションを比較

モデルの速力設定を変更し、実際の交通流との比較を行った

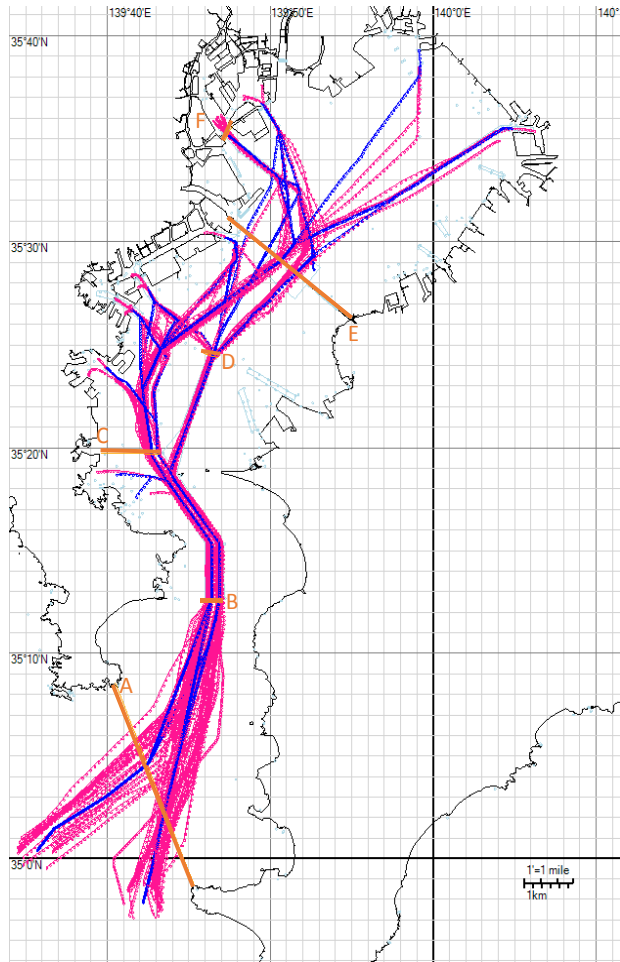
# データベース(予定速力)設定B



- 各ノードの半径1マイル以内を航行する船舶で、ノード間（変針点間）の方位と針路の差が30度以内である船舶を2013年10月1か月分のAISデータから抽出
- 船型別に平均速力を算出
- 大型船及び中型船については、データベースが作成できないノードが全体の4%程度あったため、そのノードについては小型船または中型船の平均速力を設定



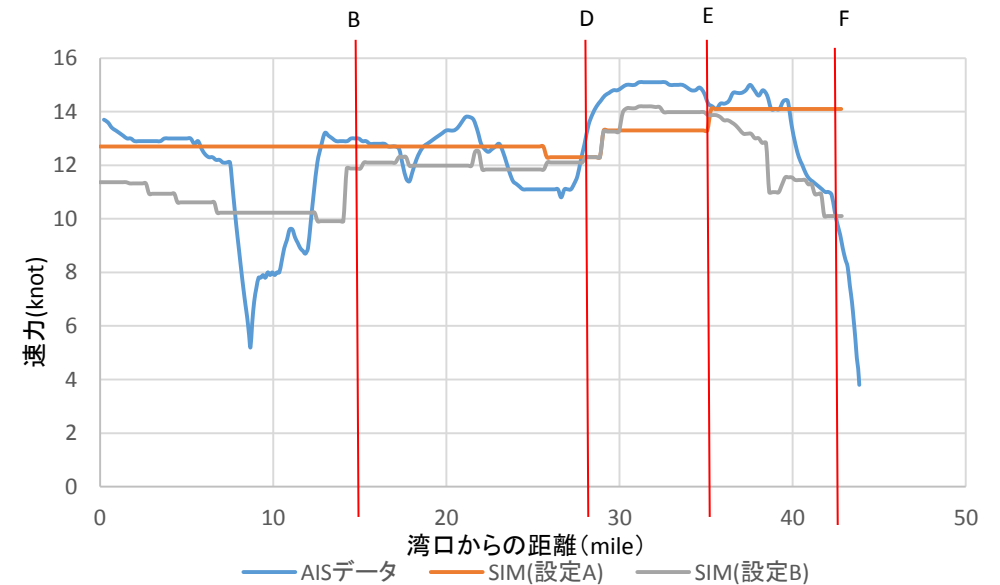
# 速力設定Aと設定Bの比較(1)



シミュレーションを行った57隻の船舶の航跡

ピンク色の線：AISデータから得た任意の船の航跡  
青色の線：ネットワークから得られる計画航路

任意の船舶の計測された速力と予定速力の変化



# 速力設定Aと設定Bの比較(2)

前スライドに示したオレンジ色の各ゲートライン (A~F) の間を通過するまでの所要時間

水色の線：任意の船舶が実際にゲートライン間を航行するのにかかった時間

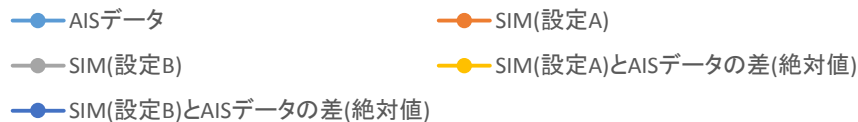
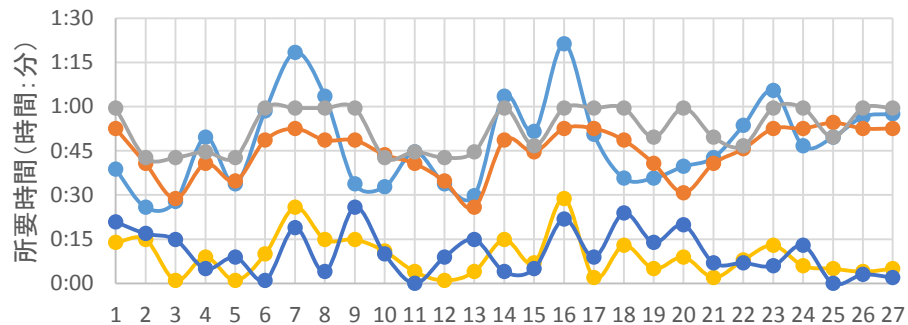
オレンジ色の線：設定Aの予定速力で航行した場合の所要時間

灰色の線：設定Bの予定速力で航行した場合の所要時間

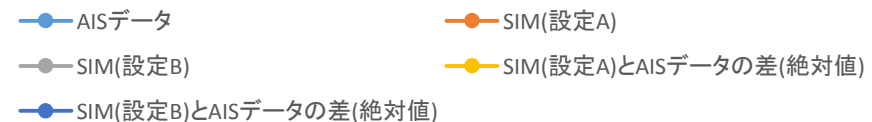
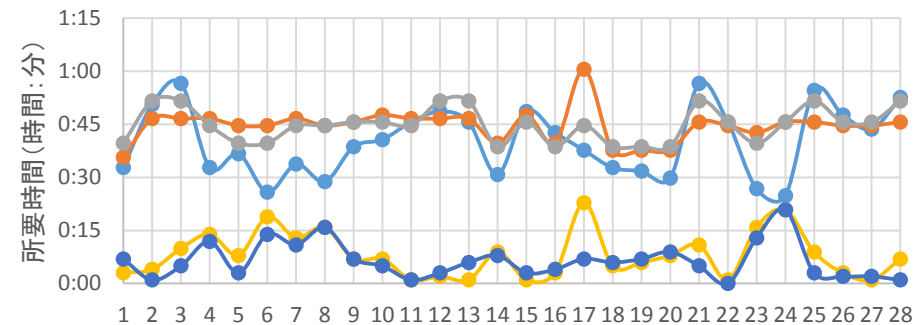
黄色の線：実際と設定Aのシミュレーション結果との所要時間の差 (絶対値)

青色の線：実際と設定Bのシミュレーション結果との所要時間の差 (絶対値)

ゲートラインA → ゲートラインB



ゲートラインB → ゲートラインA

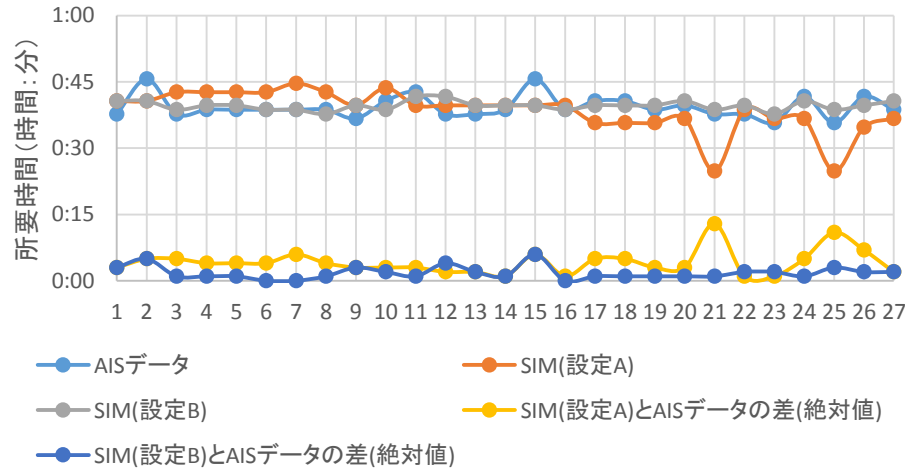


ゲートラインA-B間では、パイロットが乗下船する場合や、時間調整を行っている船舶もあり、シミュレーションと実際では最大で30分の差が生じている。

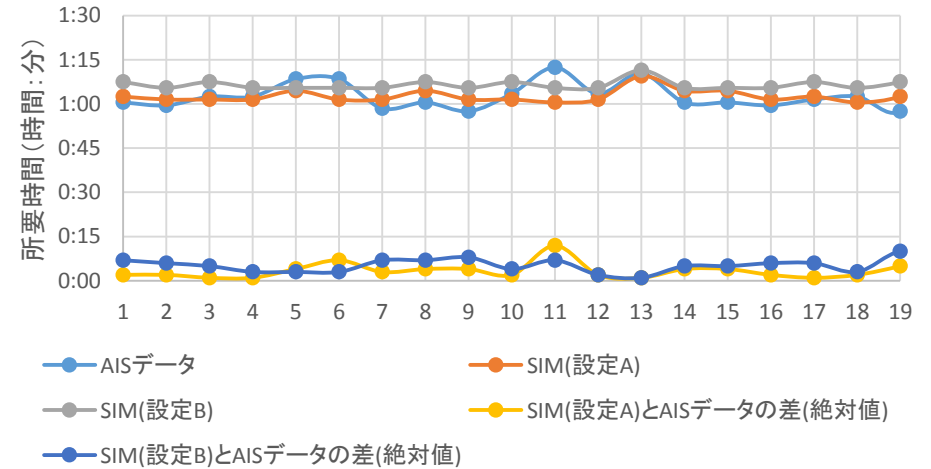


# 速力設定Aと設定Bの比較(3)

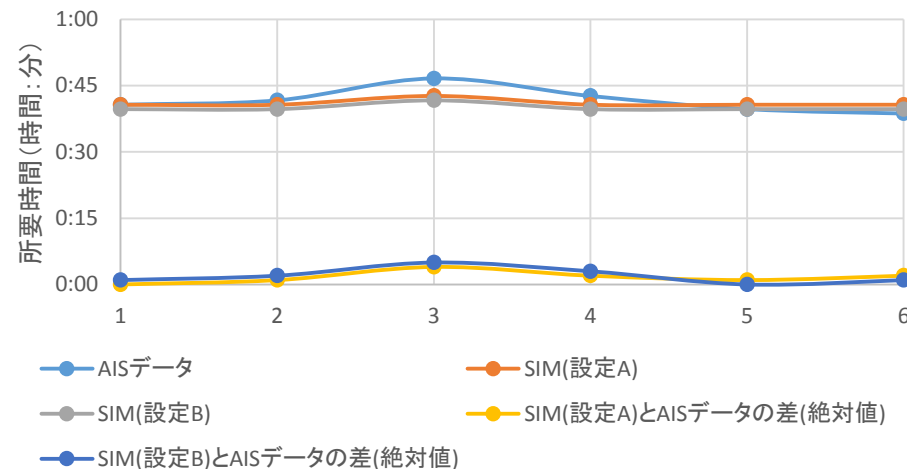
ゲートラインC → ゲートラインB



ゲートラインB → ゲートラインD



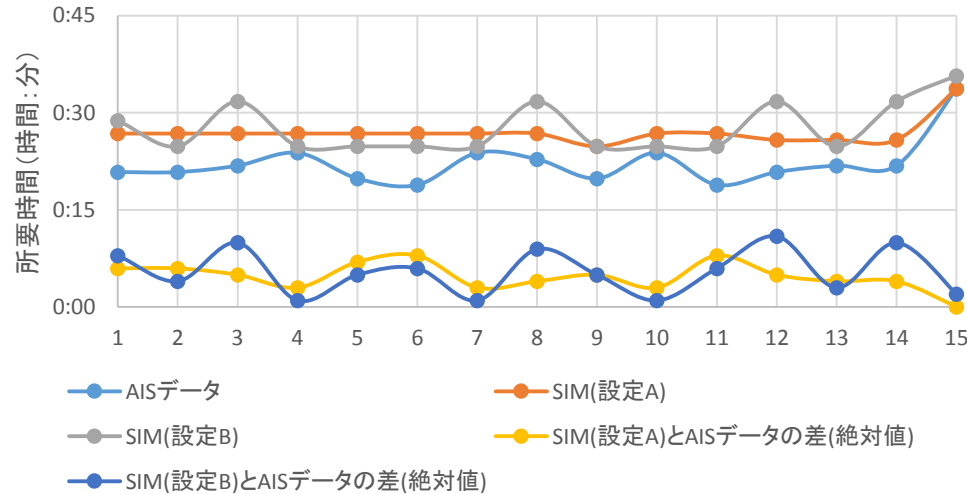
ゲートラインB → ゲートラインC



ゲートラインB-C間及びゲートラインB-D間は、浦賀水道航路及び中ノ瀬航路を航行しているため、制限速力の影響もあり、ほとんどの船舶が5分程度の差であった。

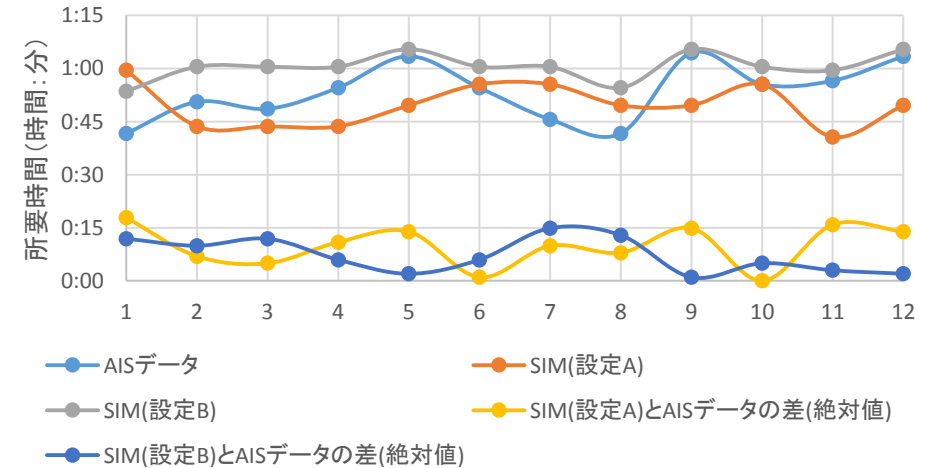
# 速力設定Aと設定Bの比較(4)

ゲートラインD → ゲートラインE



ゲートラインD-E間は、中ノ瀬航路航行後、増減速する船舶が分かれている。木更津に向けて増速しない船舶や、湾奥に向けて増速する船舶等がある。全体的にシミュレーションの結果の方が実際よりも所要時間が長くなる傾向が見られた。(木更津方面へ向かう船舶のシミュレーションは行っていない。)最大で10分程度の差があった。

ゲートラインE → ゲートラインC

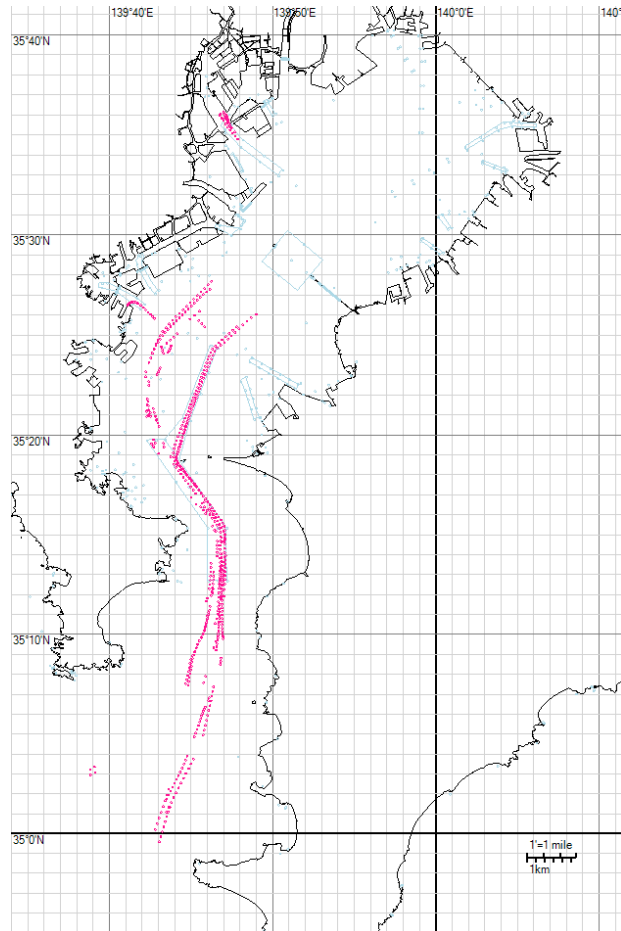


ゲートラインE-C間は、出湾する船舶であり、シミュレーションと実際では最大で15分程度の差が見られた。設定Bでは実際より遅くなる傾向がある。

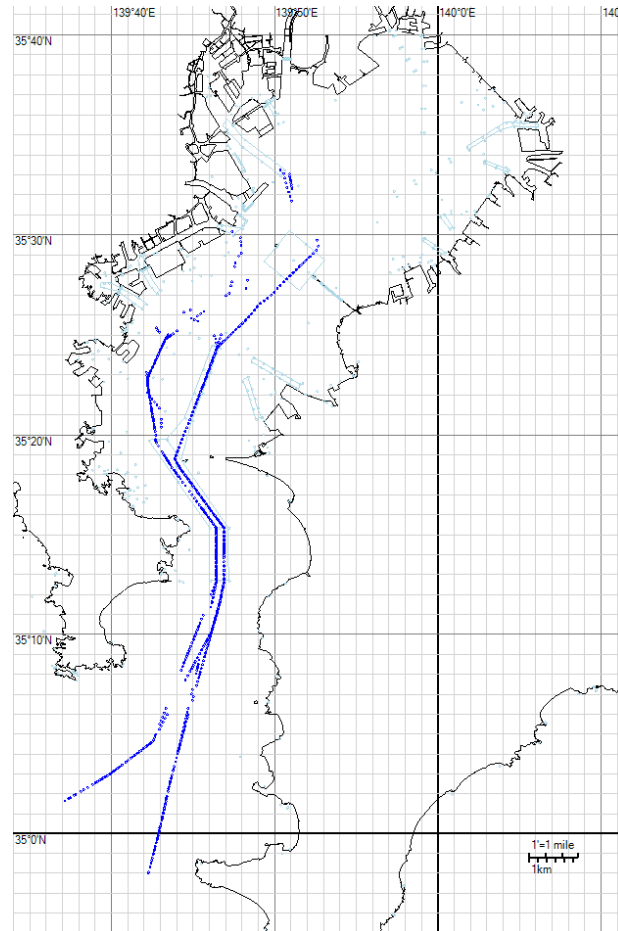
設定A及び設定Bを比較したが、どちらも同程度の再現性であった。

# シミュレーション結果 (Bumper)

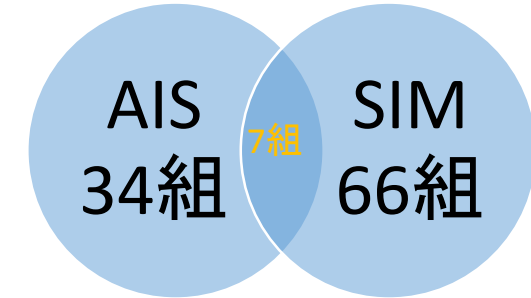
実際とシミュレーションの結果で比較すると、遭遇の可能性のあるポイント数はシミュレーションの方が多い。



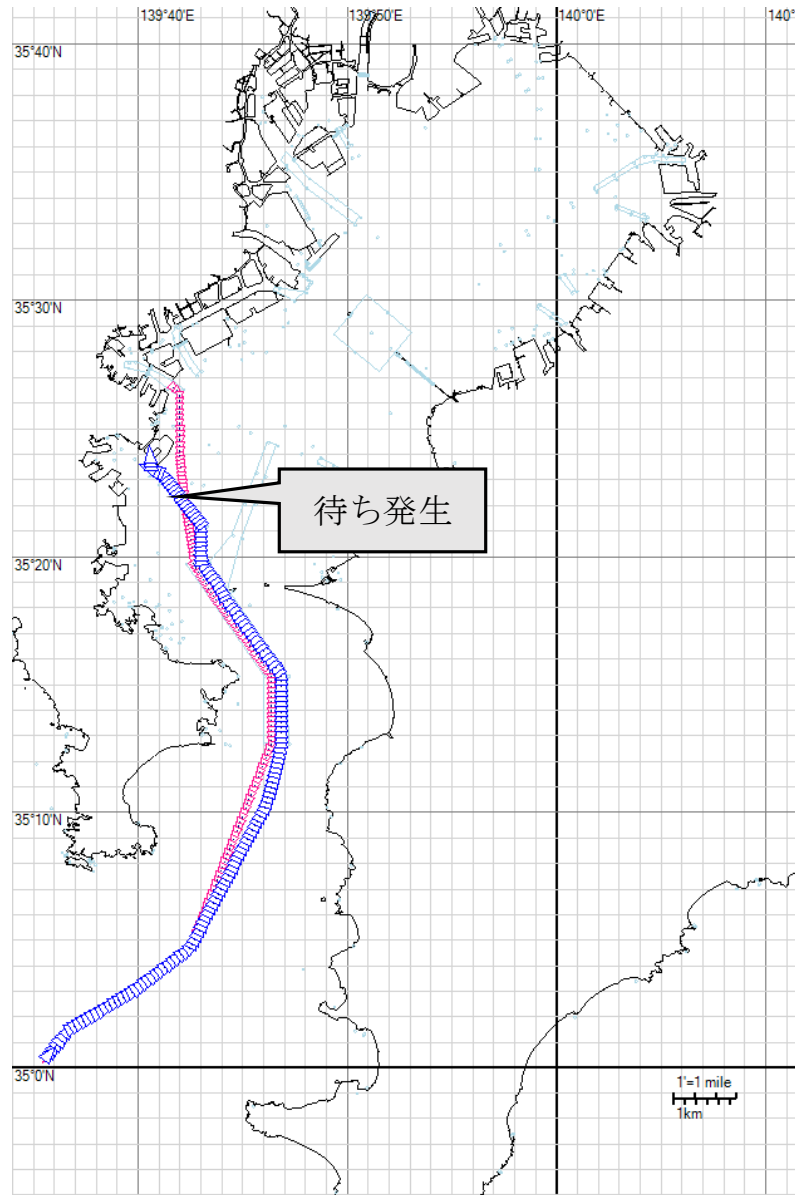
実際の航跡から得た遭遇の可能性の有るポイント



シミュレーションから得た遭遇の可能性の有るポイント



# シミュレーション結果(5)



<例3>

ピンク色の線：横浜港（横浜航路）から東京湾口へ向かう出湾船

中型船、11:02出発、待ち回数1回

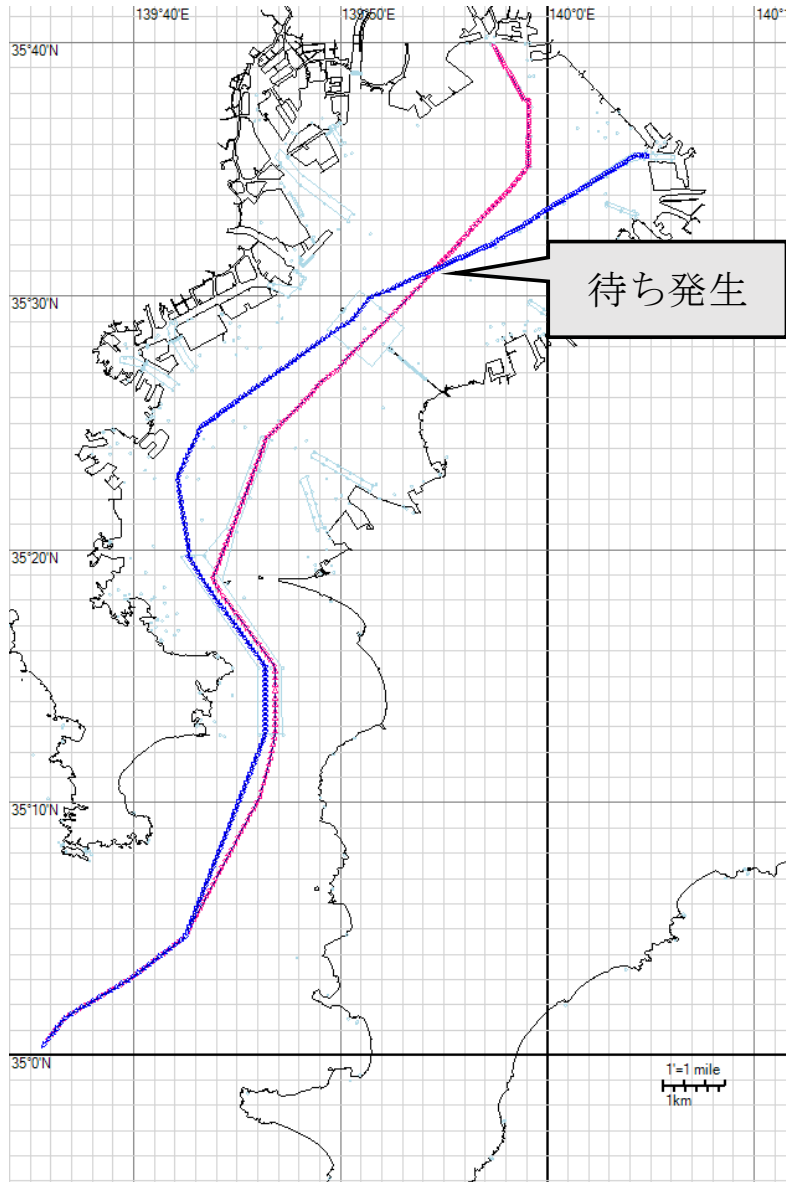
青色の線：東京湾口から横浜港（南本牧ふ頭地区）へ向かう入湾船

大型船、9:05出発、待ち回数8回

待ち発生時間：11:28

待ち発生ノード：236

# シミュレーション結果(6)



<例4>

ピンク色の線：東京湾口から千葉港（市川航路）へ向かう入湾船

小型船、10:06出発、待ち回数14回

青色の線：千葉港（千葉航路）から東京湾口へ向かう出湾船

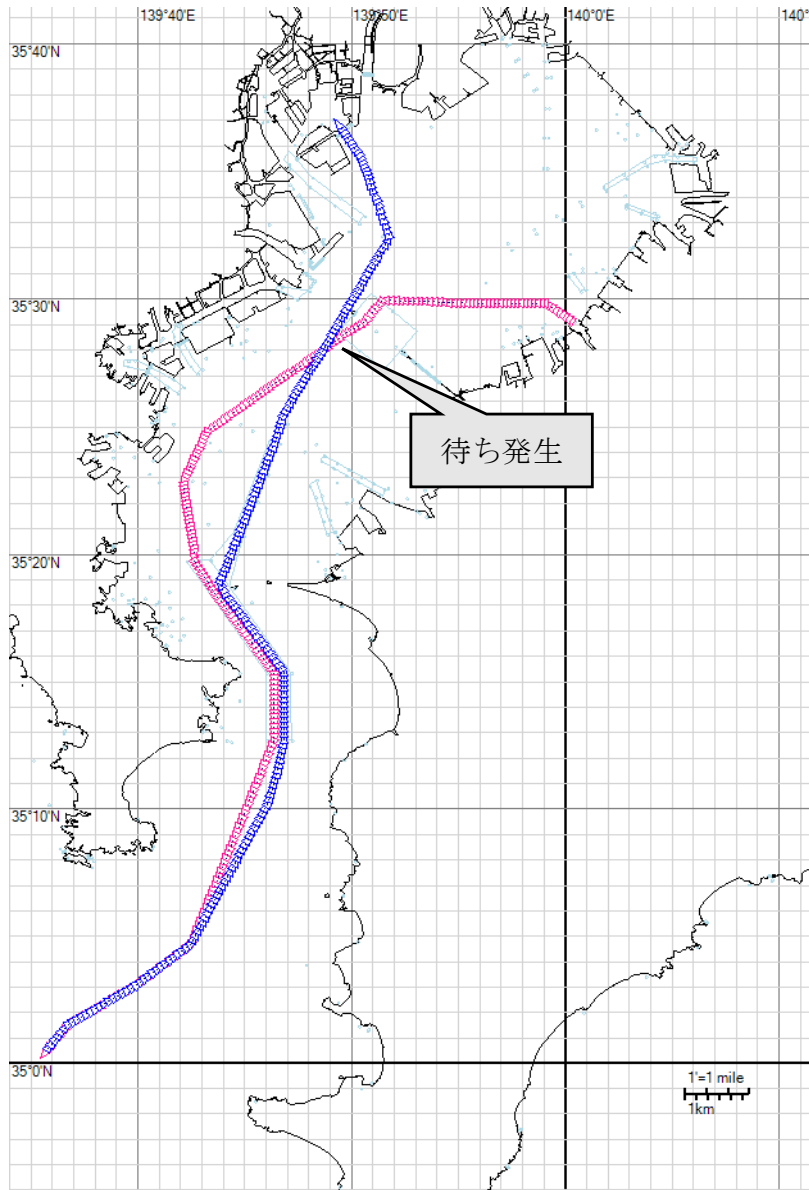
小型船、11:29出発、待ち回数9回

待ち発生時間：13:00

待ち発生ノード：423



# シミュレーション結果(8)



<例6>

ピンク色の線：千葉港（椎津航路）から東京湾口へ向かう出湾船

中型船、14:06出発、待ち回数12回

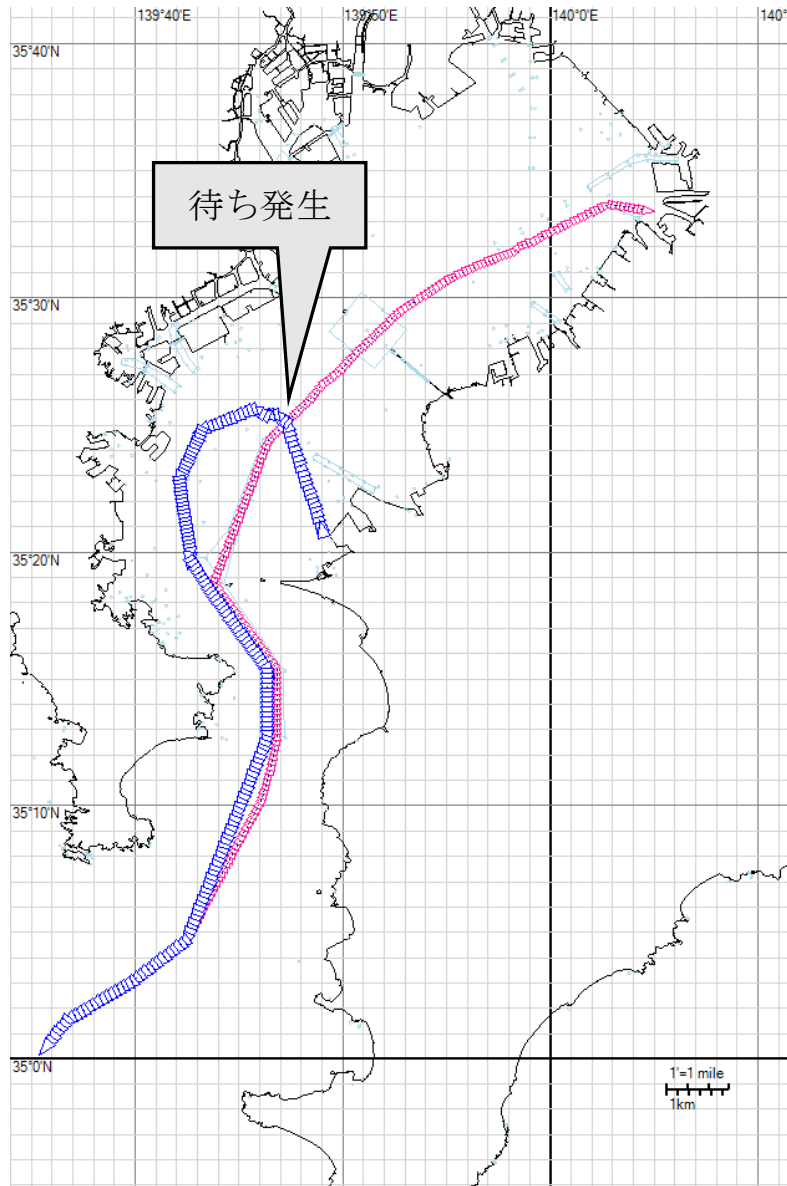
青色の線：東京湾口から東京港（東京東航路）へ向かう入湾船

中型船、12:13出発、待ち回数0回

待ち発生時間：15:08

待ち発生ノード：313

# シミュレーション結果(9)



<例7>

ピンク色の線：東京湾口から千葉港（市原航路・生浜航路）へ向かう入湾船

中型船、13:05出発、待ち回数2回

青色の線：千葉港（富津航路）から東京湾口へ向かう出湾船

大型船、15:22出発、待ち回数19回

待ち発生時間：15:46

待ち発生ノード：274