

第68回運輸政策コロキウム 「海上交通システムの計画手法と 実務への利用」

講師：大和 裕幸

(東京大学大学院新領域創成科学研究科教授)

概要

- 1.はじめに
- 2.コンテナ船の最適サイズ
- 3.インドネシアの海上輸送システム
- 4.シミュレーションによるコンテナヤードの運用設計
- 5.シミュレーションによる高速フェリーの評価
- 6.まとめ

はじめに

- マーケットニーズにあった製品開発
- 海運造船一体のプロジェクト
- 数理工学と社会科学
 - 数理工学・シミュレーションと物流データ
 - 採算の評価

これまでの研究

- 運輸施設整備事業団公募型研究‘97-99
 - 「物流システムの設計と評価手法に関する基礎的研究」
- 運輸施設整備事業団部内研究
- 日本造船研究協会SR-501
- 文部科学省科学研究費補助金
- 海上技術安全研究所 指定研究経費
- その他

コンテナ船の最適サイズ

「数理計画手法によるコンテナ船航路の設計 手法について」

- 日本造船学会1998年秋発表 -

大和裕幸(東大)、角田智弘(ソニー) 小山健夫(東大)、伏見 彬(東大)

研究の背景

- 海上コンテナ貨物の激増、船舶の大型化
 - 既存の航路が前提、それが次第に変更され成立。
- 本当に合理的な変更であるのか明確でない

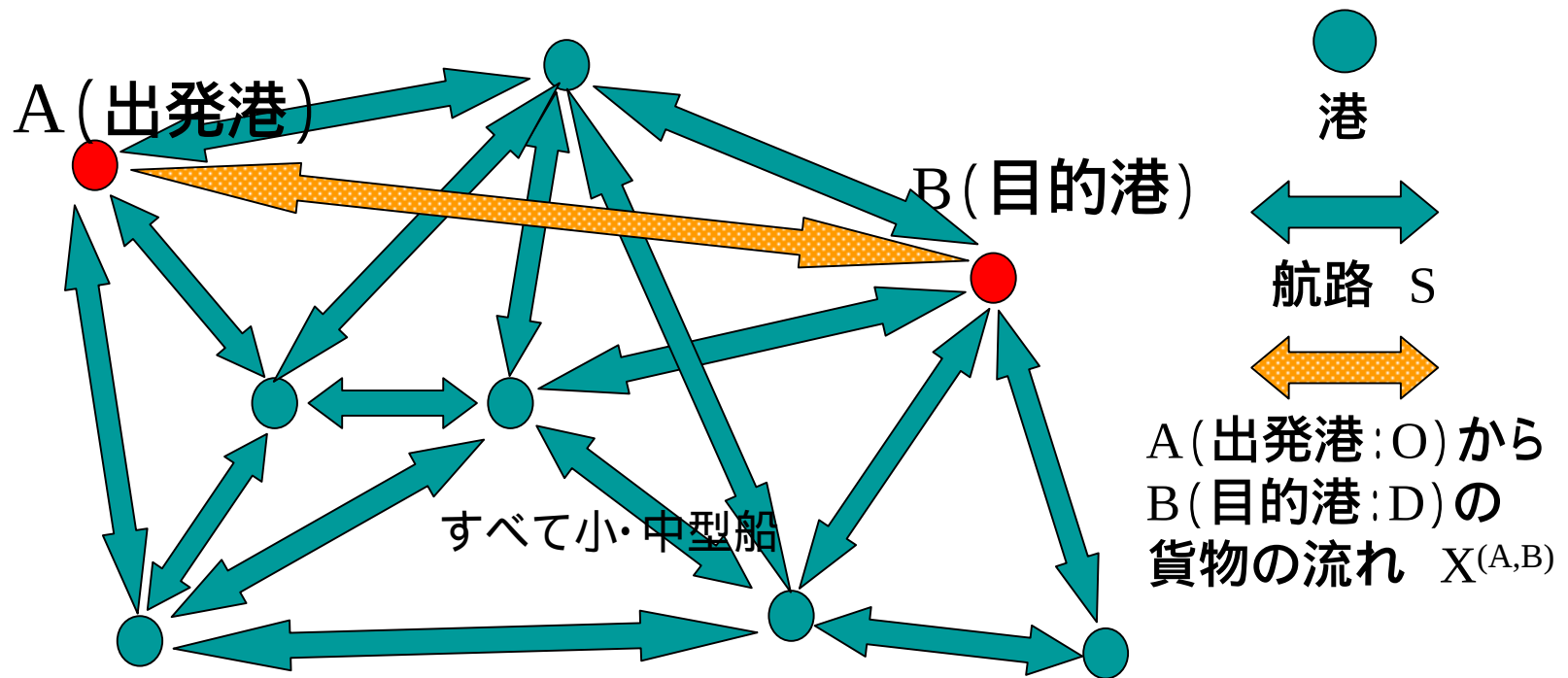
航路変更の際には、

- 航路のあるべき形態を与える手法が必要
- 船舶に対する要求仕様を抽出する

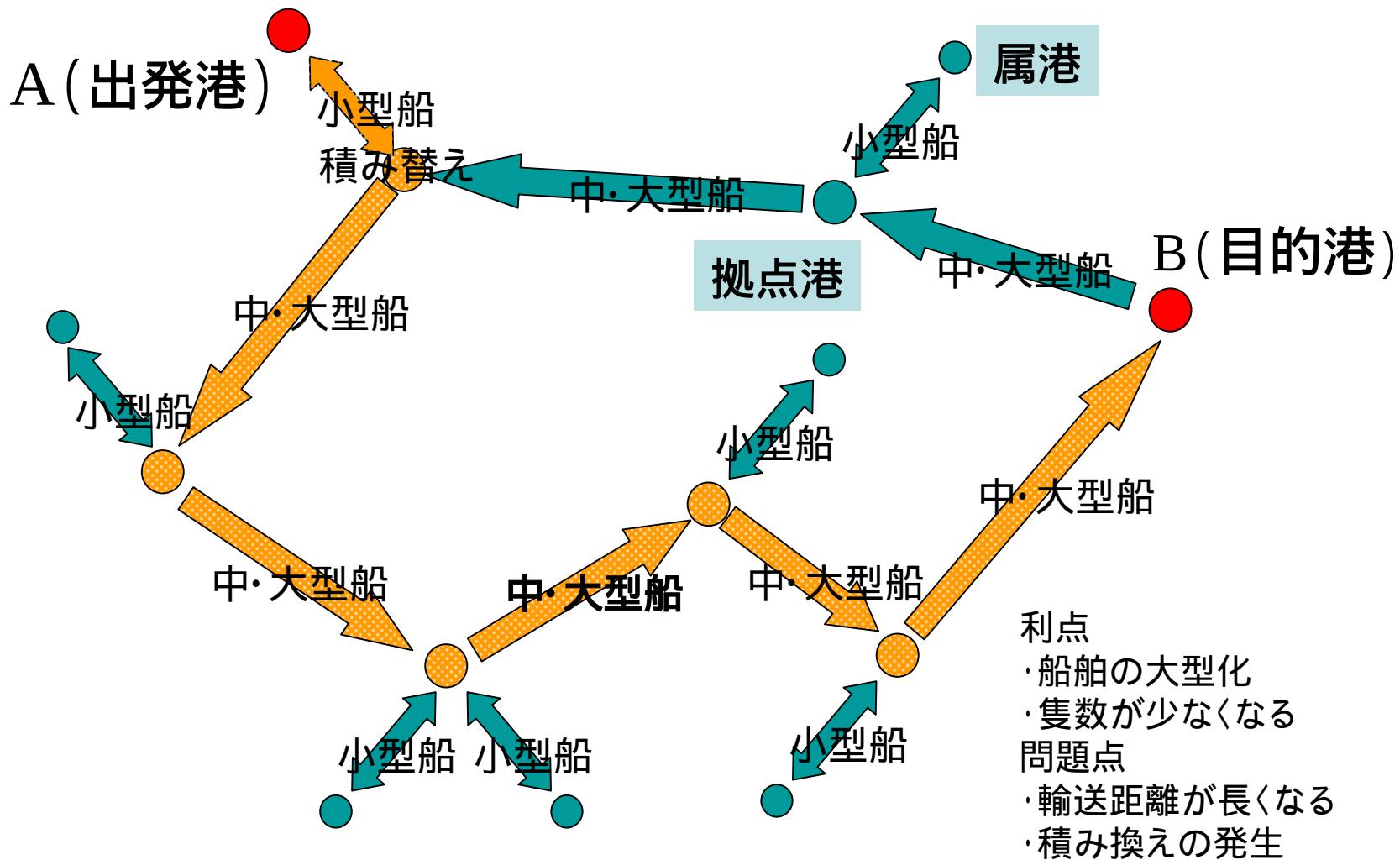
航路形態の分類

航路形態(トポロジー)を3つに分類

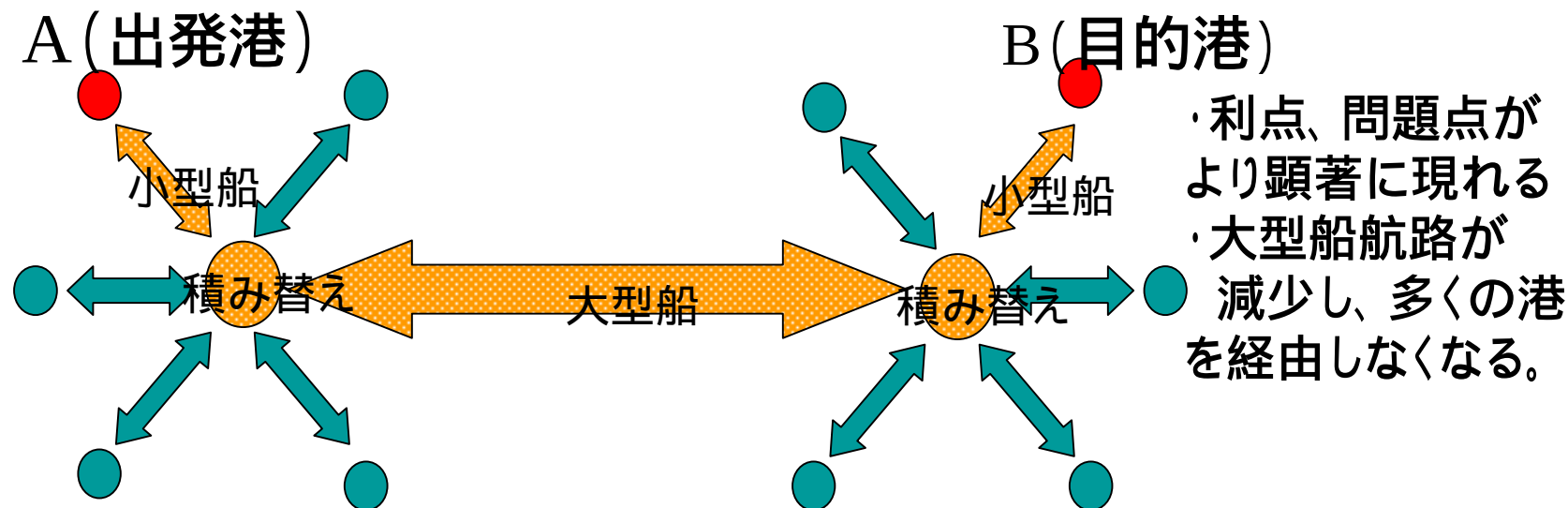
(1) Point-to-Point型輸送: (最も基本的な形態)



(2) Go-Around型輸送：貨物を集約して輸送



(3) Hub-Spokes型輸送 : Go-Around型からより貨物を集約

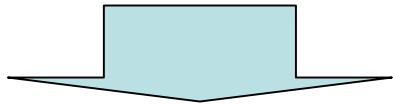


- ・現在のアジア圏コンテナ貨物輸送航路の変化
Hub-Spokes型からGo-Around型への移行？
特に北米-アジア航路において顕著である。

海上コンテナ貨物輸送モデル

ネットワーク問題として表現

- リンク: コンテナ船による航路 → 船団行列
 - ノード: 港 (既知データ)
 - フロー: コンテナ貨物の流れ → OD貨物行列
- $$S^{(k)} = \left[s_{ij}^{(k)} \right]$$
- $$X^{(O,D)} = \left[x_{ij}^{(O,D)} \right]$$

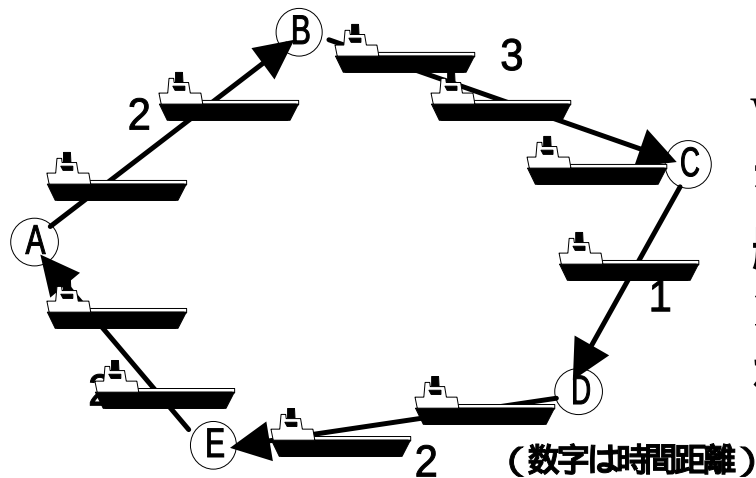


数理計画問題として求解

– 制約条件と目的関数 (全コストの最小化) の定義

船団行列 $S^{(k)} = [s_{ij}^{(k)}]$ とは

- 船団 → 同じ航路を周回する、同じ積載容量 a_k (TEU) (サイズ) をもつ1隻以上のコンテナ船の集団



船団行列

Weekly-Service
を前提とすると
船舶サイズ a_k
10隻で構成さ
れる船団

$$S^k = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{matrix}$$

A B C D E

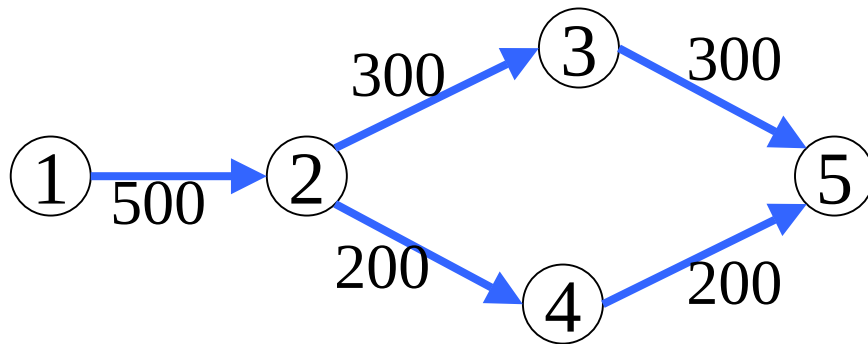
Sは0-1整数変数により定式化が可能

Sはネットワークに1つ以上存在し、リンクを構成

コンテナ貨物行列 $X^{(O,D)} = [x_{ij}^{(O,D)}]$ とは

- リンクに流れるフロー
- 連続変数で表現 (TEU/週)
- 貨物の発生する港、吸収される港の対の数 ((O,D)組の数) だけ存在

* 港1から港5へ輸出される貨物量500TEU/週 *



$$X^{(1,5)} = \begin{bmatrix} 0 & 500 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 300 & 200 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 300 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

貨物の流れ

S、Xの満たすべき条件(制約条件)

- S: 周回航路条件 → 閉路条件として表現
- X: 経由港でのフローの増減はない、フローは正
- SとX: 各リンクにおけるXの総和はSの総和を超えない。

→ 数理計画問題における制約条件となる。

海上コンテナ貨物輸送にかかるコスト (目的関数)

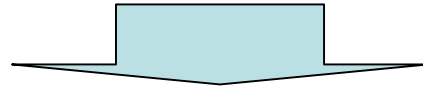
$$\begin{aligned} \text{全コスト} = & \text{貨物時間コスト} \\ & + \text{船舶運航コスト} \\ & + \text{貨物積み換えコスト} \end{aligned}$$

→ 数理計画問題における目的関数となる。

数理計画手法によるモデル化

目的関数
制約条件

} 表現すべき内容を整理



数理計画問題としてモデル化し、求解する

• 船団行列 → 0-1整数変数で表現

いままで挙げた条件を全て定式化する



混合整数非線形計画(MINLP)問題 → 求解が非常に困難

幾つかの条件を緩和する



求解可能な問題にモデル化(定式化)

設計手法の提案

- 段階的設計手法を提案する。(3段階)

→ 各数理計画手法の求解能力・解の意味に着目

第1段階：拠点港抽出と地域分け

LP利用

第2段階：基幹航路の設計

MILP利用

第3段階：地域航路の設計

MILP 利用

アジア圏海上コンテナ貨物輸送 ネットワークの設計

18港

- 欧州1港
- 北米1港
- アジア16港

O \ D	Los Ang	Rotterda	Tokyo	Yokoham	Nagoya	Osa	Kobe	Bangkok	Port Kel	Si	Tanjung	Manila	Shang	Tianjin	Busa	Kaohsi	Ke	Hong K
Los Angles	0	7757	4843	4832	4866	5121	5117	7755	7867	7660	7912	6523	5712	6020	5235	6115	5916	6355
Rotterdam	7757	0	11242	11231	11135	11039	11034	9153	8107	8314	8495	9630	10472	11129	10831	9906	10102	9755
Tokyo	4843	11242	0	16	221	365	361	3058	3142	2920	3262	1824	1049	1357	674	1351	1151	1593
Yokohama	4832	11231	17	0	210	356	351	3047	3131	2909	3251	1813	1038	1346	663	1340	1140	1582
Nagoya	4866	11117	221	210	0	243	238	2901	3013	2795	3137	1695	926	1234	551	1232	1028	1489
Osa	5121	11039	367	356	243	0	13	2814	2896	2697	3051	1592	796	1060	372	1125	930	1391
Kobe	5117	11034	362	351	238	13	0	2810	2906	2699	3046	1588	787	1046	363	1121	926	1387
Bangkok	7755	9153	3058	3047	2901	2814	2810	0	1037	830	1306	1485	2281	2907	2582	1704	1965	1500
Port Kelang	7867	8107	3142	3131	3013	2896	2906	1037	0	222	752	1515	2388	3007	2724	1832	2028	1639
Si	7660	8314	2920	2909	2795	2697	2699	830	222	0	545	1308	2181	2800	2517	1625	1821	1432
Tanjung Priok	7912	8495	3262	3251	3137	3051	3046	1306	752	545	0	4925	2531	3210	2853	1975	2170	1900
Manila	6523	9630	1824	1813	1653	1568	1588	1485	1515	1308	4925	0	1130	1779	1413	547	732	633
Shang	5712	10472	1049	1038	926	796	787	2281	2388	2181	2531	1130	0	744	493	606	419	823
Tianjin	6020	11129	1357	1346	1234	1060	1046	2907	3007	2800	3210	1779	744	0	723	1234	1046	1450
Busa	5235	10831	674	663	551	372	363	2582	2724	2498	2853	1413	493	723	0	913	1715	1145
Kaohsi	6115	9906	1351	1340	1028	1125	1121	1704	1832	1625	1975	547	606	1234	913	0	229	342
Ke	5916	10102	1151	1140	1028	930	926	1965	2028	1821	2170	732	419	1046	715	229	0	475
Hong Kong	6355	9755	1593	1582	1489	1391	1387	1500	1639	1432	1900	633	823	1450	1145	342	475	0

港間距離表

O \ D	Los Ang	Rotterda	Tokyo	Yokoham	Nagoya	Osa	Kobe	Bangkok	Port Kla	Si	Tanjung	Manila	Shang	Tianjin	Busa	Kaohsi	Ke	Hong K
Los Angles	0	0	3155	2902	1136	1136	4290	2014	288	3778	1132	403	1669	1208	7844	1734	893	3989
Rotterdam	0	0	1894	1742	682	682	2576	2282	479	3874	1016	173	4238	3069	5236	443	228	3682
Tokyo	3489	2008	0	0	0	0	0	992	342	1414	506	240	514	372	2515	548	283	1375
Yokohama	3965	2282	0	0	0	0	0	1127	388	1606	575	273	584	423	2858	623	321	1563
Nagoya	1745	1004	0	0	0	0	0	496	171	707	253	120	257	186	1257	274	141	688
Osa	1110	639	0	0	0	0	0	315	109	450	161	77	164	118	800	175	90	438
Kobe	5551	3195	0	0	0	0	0	1577	544	2249	805	383	818	592	4001	873	450	2188
Bangkok	3721	2988	873	803	314	314	1187	0	0	0	0	0	311	226	1093	0	0	710
Port Klang	1323	1630	206	190	74	74	281	0	0	0	0	0	345	250	384	0	0	1055
Si	4967	3510	432	397	155	155	587	0	0	0	0	0	211	144	105	460	0	1860
Tanjung Priok	3164	5849	1827	1681	658	658	2484	0	0	0	0	19	1524	1103	2397	0	0	1611
Manila	1323	614	494	454	178	178	672	0	0	115	0	0	0	0	364	0	0	345
Shanghai	3871	6774	926	852	333	333	1259	155	322	834	512	11	0	0	723	0	0	0
Tianjin	2803	4905	671	617	241	241	912	113	234	604	370	8	0	0	524	0	0	0
Busan	8995	4200	1362	1253	490	490	1852	690	595	1496	690	230	412	298	0	0	0	2416
Kaohsiung	4701	2438	560	515	202	202	762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Keelung	35	1839	423	389	152	152	575	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hong Kong	2014	1975	67	62	24	24	91	134	96	748	115	134	0	0	518	0	0	0

OD貨物表

3段階で設計

第1段階：拠点港抽出と地域分け

LPにより、

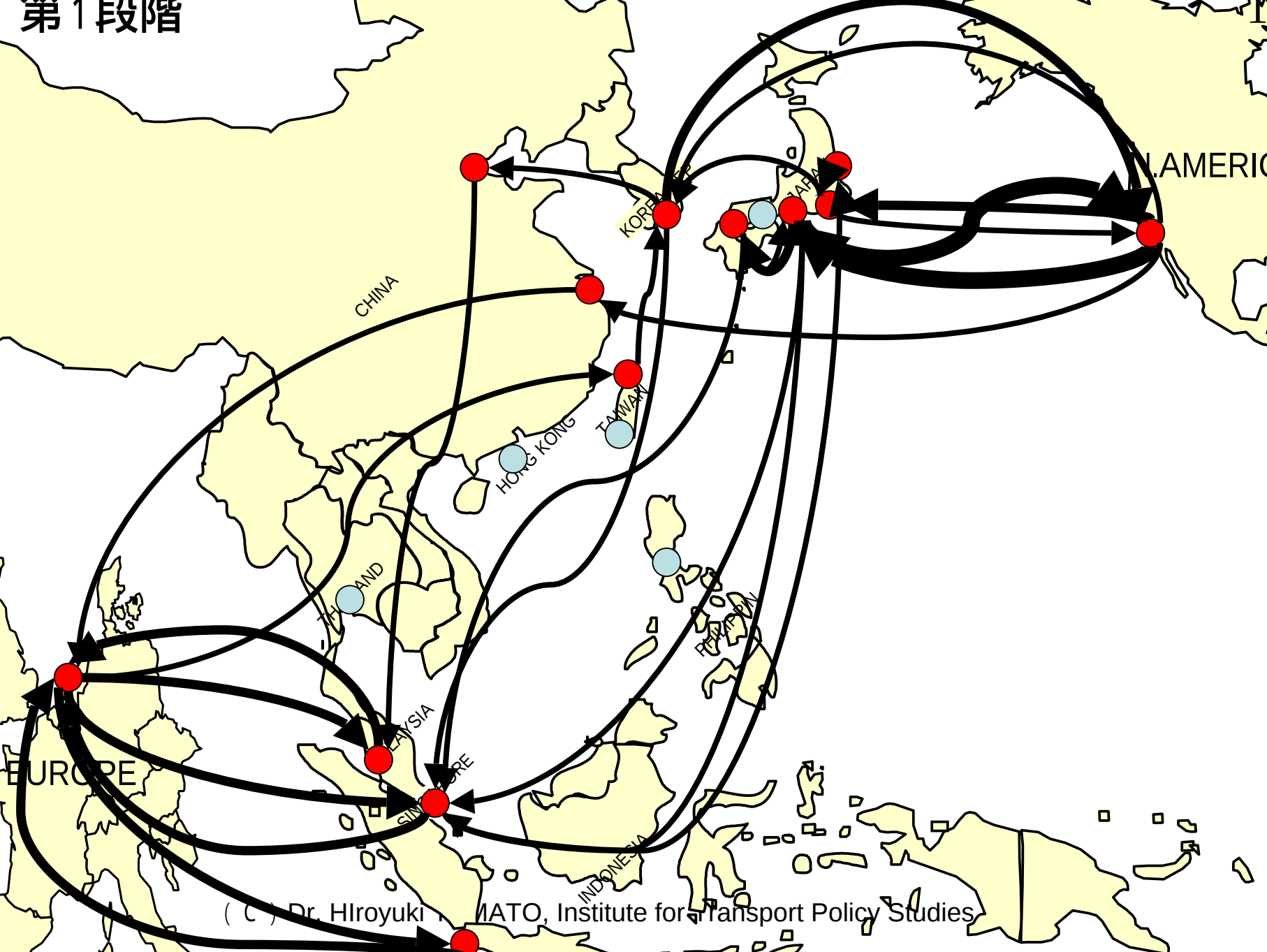
- 船団行列
- コンテナ貨物行列

をもとめ、拠点港抽出と地域分けを行う。

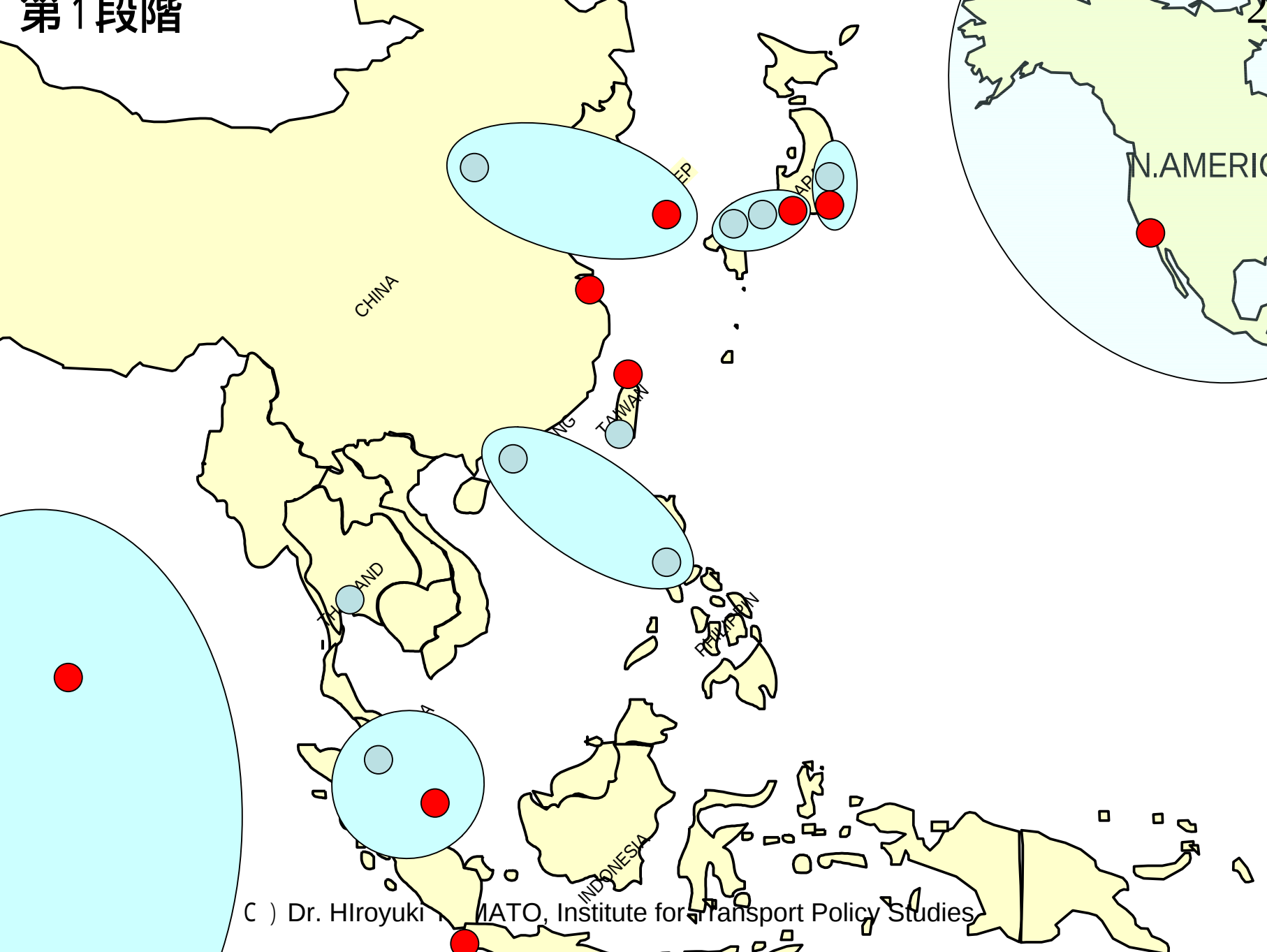
O \ D	Los Angeles	Rotterdam	Tokyo	Yokohama	Nagoya	Osaka	Kobe	Bangkok	Port Klang	Singapore	Tanjung Priok	Manila	Shanghai	Tianjin	Busan	Kaohsiung
Los Angeles	0	0	0	12.47	25.26	0	0	2.01	0.28	0	1.13	0.4	5.64	0	9.04	0
Rotterdam	0	0	0	0	0	0	0	0	12.44	10.92	12.29	0	4.23	0	0	0.44
Tokyo	0	0	0	14.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yokohama	7.44	0	14.54	0	0	0	0	2.11	0	8.01	1.07	0.51	1.09	0.79	5.36	1.16
Nagoya	24.93	0	0	0	0	0	11.11	0.49	0	5.64	0.25	0.12	0.25	0.18	1.25	2
Osaka	0	0	0	0	0	0	3.88	0.31	1.27	0.45	0	0	0	0	0	0.17
Kobe	0	0	0	0	6.66	3.55	0	1.57	0	5.43	0.96	0.45	0.97	0.7	4.8	0.87
Bangkok	3.72	0	0	0.87	0.31	0.31	1.18	0	2.98	0	0	0	0.31	0.22	1.09	0.8
Port Klang	1.32	12.72	0	0	0.07	1.03	0	2.28	0	0.39	0	0	0.34	3.31	0.38	0
Singapore	0	16.18	0	4.84	5.79	0.15	3.15	0	1.48	0	4.87	0.39	0.14	0.1	0.46	0
Tanjung Priok	3.16	5.84	0	3.5	0.65	0	3.13	0	0	0.01	0	0	1.52	0	2.39	1.1
Manila	0	0	0	0.94	1.49	0.84	0	0	0.61	0.11	0	0	0	0	0.36	0
Shanghai	3.87	6.77	0	1.77	0.33	0	1.58	0.15	0.32	0.83	0.51	0.01	0	0	0.72	0
Tianjin	0	0	0	1.28	0.24	0	1.15	0.11	5.13	0.6	0	0	0	0	3.32	0.37
Busan	11.79	0	0	2.61	0.49	0	2.34	0.69	0	6.28	0.69	0.23	1.58	5.8	0	0
Kaohsiung	0	2.43	0	1.87	4.9	0.2	0.76	0	0	0	0.37	0	0	1.1	0	0
Keelung	0	1.83	0	0.8	3.69	0	0.72	0	0	0	0	0	0	0	5.23	0
Hong Kong	0	0	0	0.12	2.03	0	0.11	2.78	2.06	0.74	0.77	2.58	0.79	0	0.51	4.72

船団行列

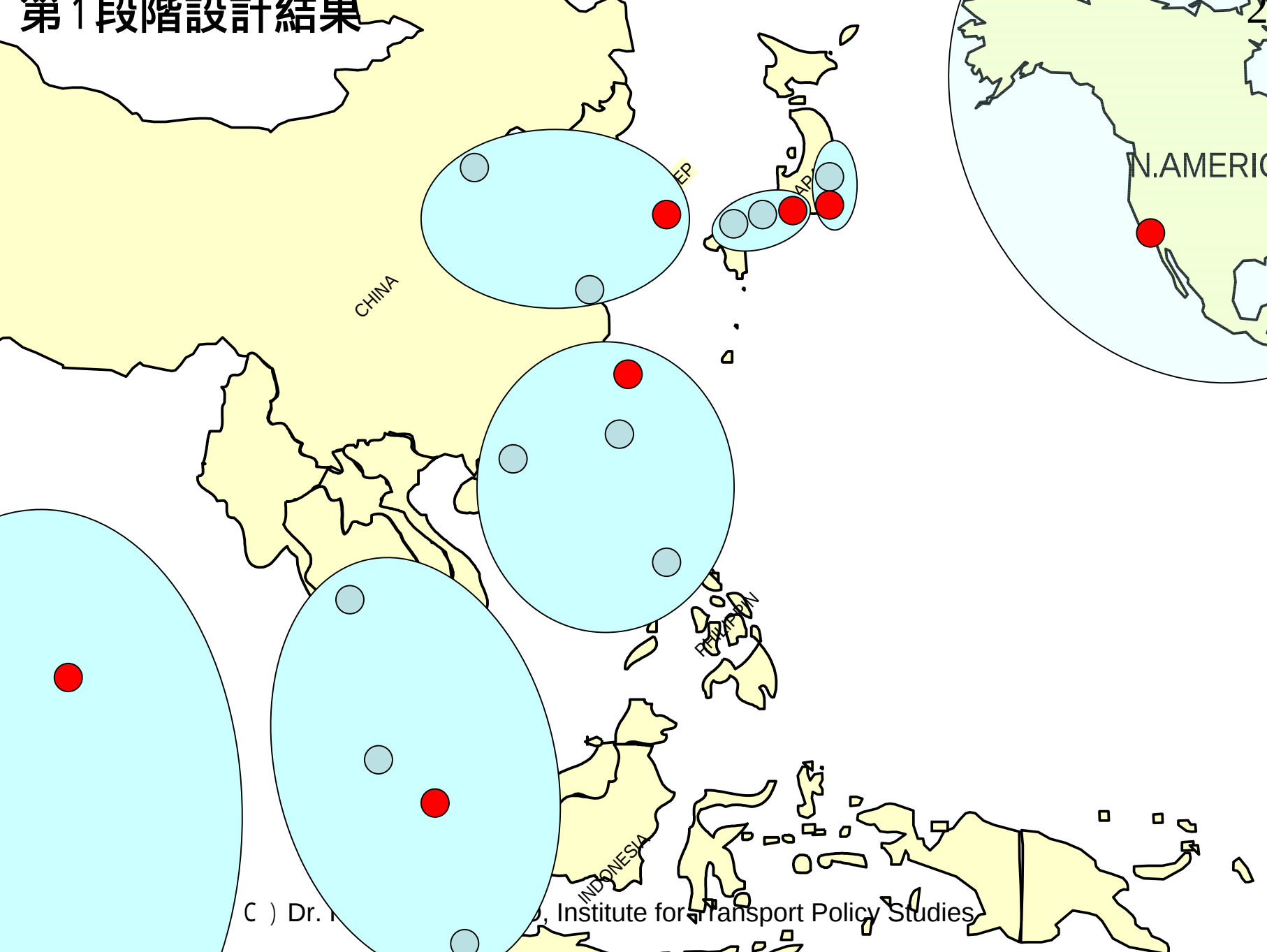
第1段階



第1段階

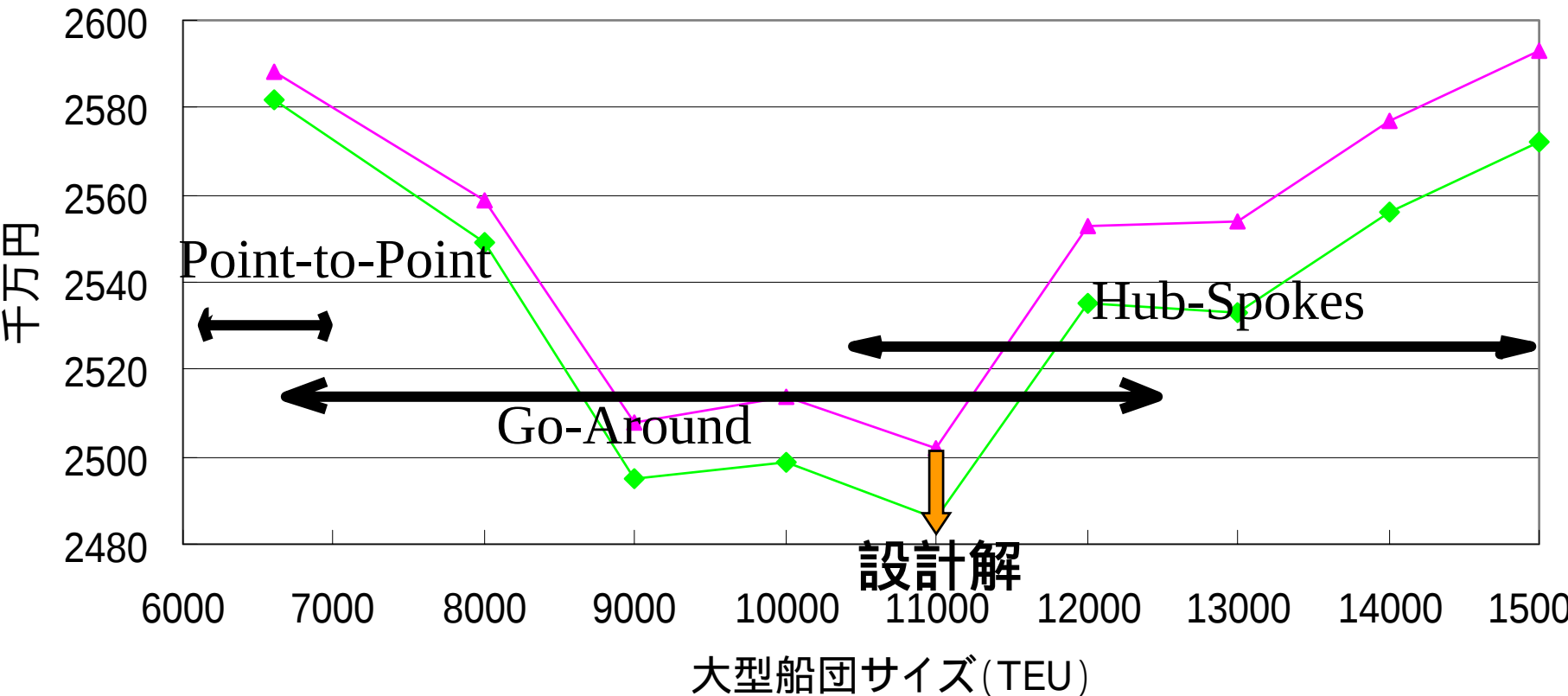


第1段階設計結果

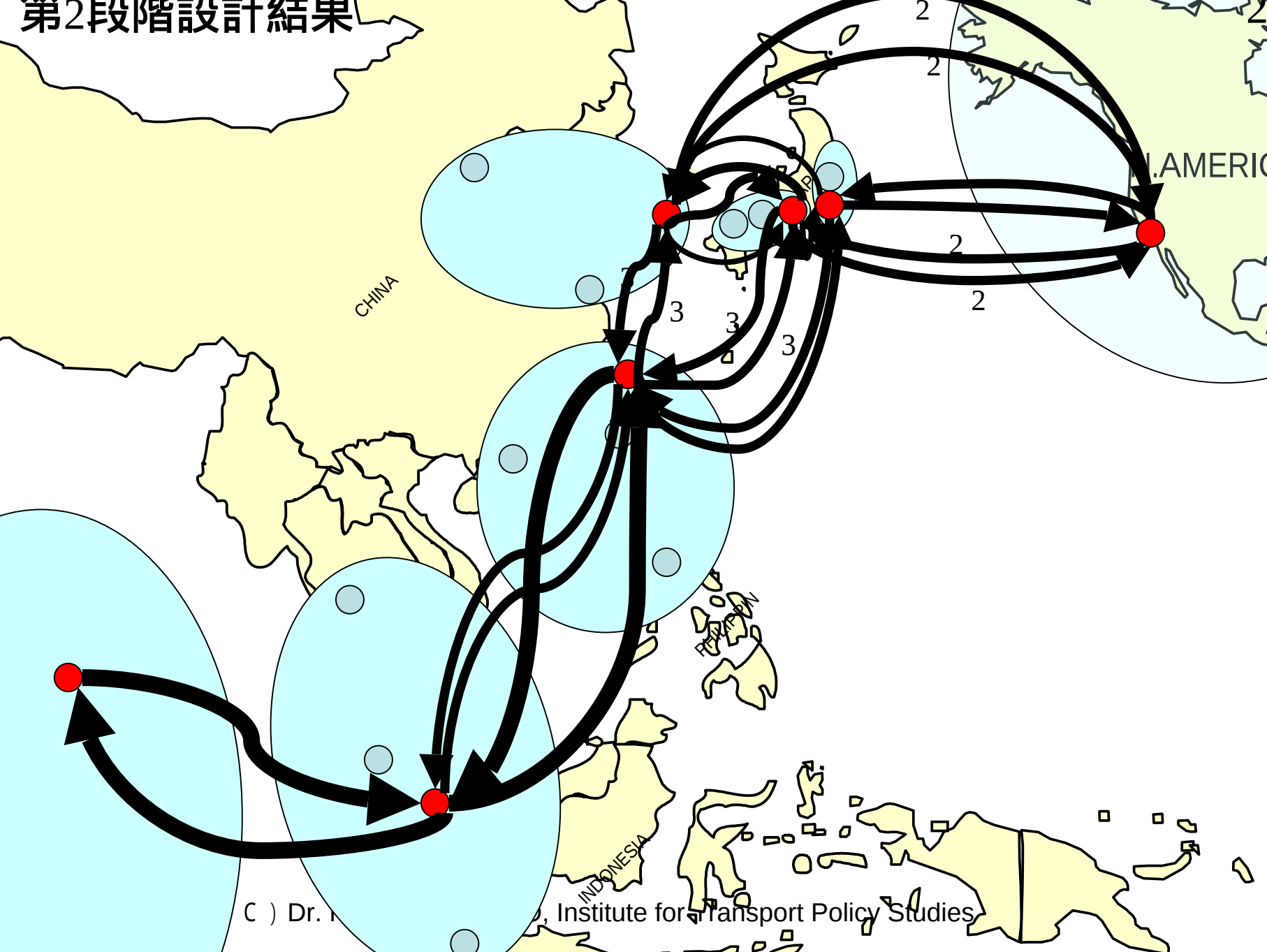


大中小3船団による解

- 積み換えコストの考慮
 - 大型船11000TEUの 때가最小値となった。

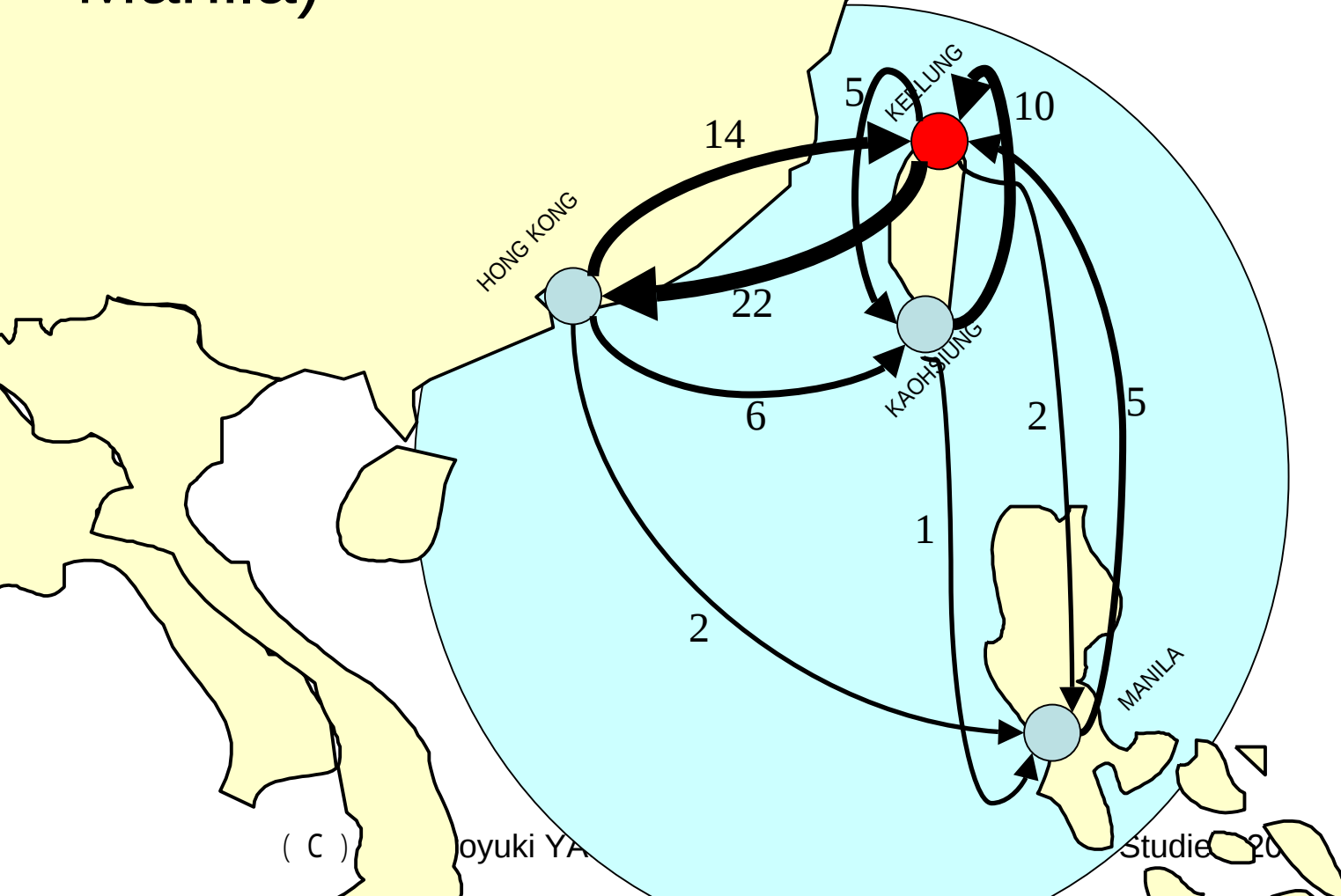


第2段階設計結果



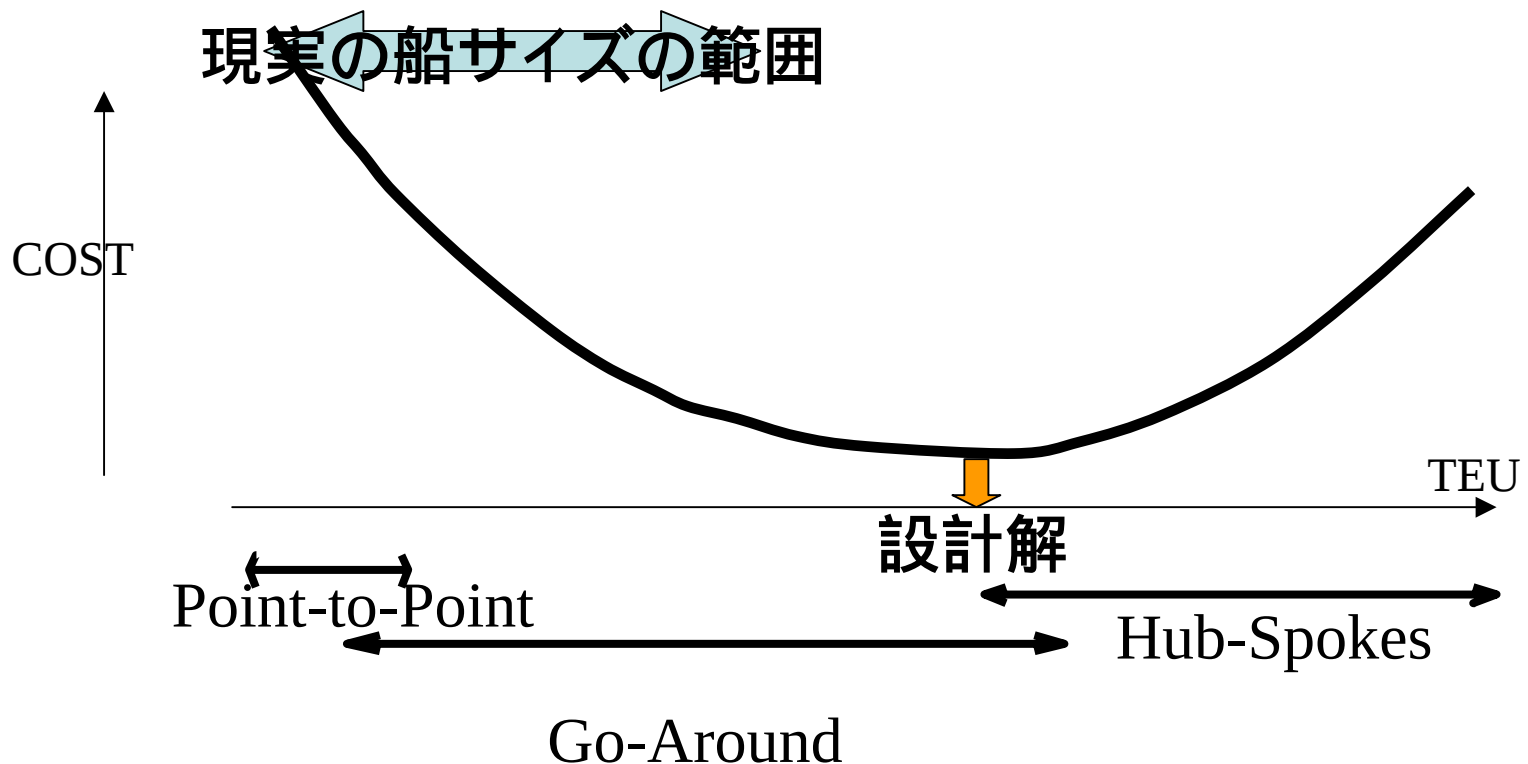
第3段階設計結果例

- Area7(Keelung, Hong Kong, Kaohsiung, Manila)



設計の結果と考察(1)

- 現実より大きい船を用いる設計解。世界唯一船社。



結論

- 数理計画法を段階的に利用することで海上コンテナ貨物輸送ネットワーク設計手法を提案した。
- アジア圏海上コンテナ貨物輸送ネットワークの設計を行い、そのあるべき航路形態と船舶の大きさを求め、考察を行った。

インドネシアの海上輸送システム

- インドネシアの海運システムのマスタープラン
- Design of the Indonesian marine transportation network
 - Hiroyuki Yamato, Univ. of Tokyo,
Hisayuki Kurokawa, Tokyo Univ. of Mercantile Marine
and
Suprayogi, Inst. Tech. Bandung

目的

- 数理計画法によりインドネシア国の海上輸送システムについて考える
- マスタープラン策定の詳細な検討手法

数理工学手法の検討

- 未知数の決定
 - 仮定と未知数、
- 与えられているデータの確定
 - OD
- 目的関数
 - コスト、サービスなど
- 制約条件
 - 港の水深

未知数

- R_{ij}^k the number of voyages between ports i and j using ship type k (time/ week)
- $x_{ij}^{k,u}$ the amount of filled container flows between ports i and j using ship type k (TEU/year)
- y_{ij}^k the amount of empty container flows between port i and j using ship type k (TEU/year)

与えるデータ

w_k	the maximum carrying capacity of the ship type k (TEU)
v_k	the speed of the ship type k (knot)
hu_k	the number of crews of the ship type k (person)
D_k	the draft of the ship type k (meter)
h_i	the depth of the port i (meter)
O_i	the amount of outgoing container for port i (TEU/year)
D_i	the amount of ingoing container for port i (TEU/year)
s_i^u	the amount of filled container requirement for port i (TEU/year)
t_i	the amount of empty container requirement for port i (TEU/year)

f	the call frequency (times/year)
d_{ij}	the distance between ports i and j (miles)
r_{ij}^k	the number of the ship type k required for link (i, j)

Given data

c_1	the fuel price (yen/ton)
c_2	the fuel consumption coefficient
c_3	the displacement coefficient (ton/TEU)
c_{4i}	the entrance and clearance fees port i , the variable component (yen)
c_{5i}	the entrance and clearance fees at port i , the fixed component (yen)
c_{6i}	the handling cost of port i
c_7	the tally charge coefficient
c_8	the wages and crew expenses (yen/person)
c_{9k}	the price of ship k (yen/TEU)
c_{10}	the maintenance coefficient of ships (percent)
c_{11}	the depreciation coefficient of ships (percent)
c_{12}	the interest coefficient of ships (percent)
c_{13}	the price of the container (yens/TEU)
c_{14}	the maintenance coefficient of containers (percent)
c_{15}	the depreciation coefficient of containers (percent)
c_{16}	the interest rate coefficient containers (percent)

The total cost

The total cost consists of the following costs:

- Navigation cost
- Ship cost
- Container cost

$$C = C_{navigation} + C_{ship} + C_{container}$$

Formulation of the navigation cost

$$\begin{aligned} C_{navigation} = & c_1 \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \left\{ \frac{d_{ij}}{24 \cdot v_k} \cdot c_2 (c_3 w_k)^{\frac{2}{3}} \cdot v_k^3 \cdot f \cdot R_{ij}^k \right\} \\ & + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \left\{ (c_{4i} \cdot w_k + c_{5i}) f \cdot R_{ij}^k \right\} \\ & + \sum_{(i,j) \in A} \left\{ (1 + c_7) \cdot c_{6i} \cdot (O_i + D_i + |O_i - D_i|) \right\} \end{aligned}$$

Formulation of the ship cost

$$\begin{aligned} C_{ship} = & \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \left(c_8 \cdot hu_k \cdot r_{ij}^k \cdot R_{ij}^k \right) \\ & + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \left(c_{10} \cdot c_{9k} \cdot w_k \cdot r_{ij}^k \cdot R_{ij}^k \right) \\ & + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \left(c_{11} \cdot c_{9k} \cdot w_k \cdot r_{ij}^k \cdot R_{ij}^k \right) \\ & + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \left(c_{12} \cdot c_{9k} \cdot w_k \cdot r_{ij}^k \cdot R_{ij}^k \right) \end{aligned}$$

Formulation of the container cost

$$\begin{aligned}
 C_{\text{container}} = & c_{14} \cdot c_{13} \left\{ \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \frac{\sum_{u \in U} x_{ij}^{k,u} + y_{ij}^k}{f} \cdot r_{ij}^k + \sum_{i \in N} \frac{(O_i + D_i + |O_i - D_i|)}{f} \right\} \\
 & + c_{15} \cdot c_{13} \left\{ \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \frac{\sum_{u \in U} x_{ij}^{k,u} + y_{ij}^k}{f} \cdot r_{ij}^k + \sum_{i \in N} \frac{(O_i + D_i + |O_i - D_i|)}{f} \right\} \\
 & + c_{16} \cdot c_{13} \left\{ \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \frac{\sum_{u \in U} x_{ij}^{k,u} + y_{ij}^k}{f} \cdot r_{ij}^k + \sum_{i \in N} \frac{(O_i + D_i + |O_i - D_i|)}{f} \right\}
 \end{aligned}$$

Constraints

- Flow condition
- Capacity condition
- Voyage condition

Formulation of the constraints

$$\sum_{k \in K} \sum_{\{j|(i,j) \in A\}} x_{ij}^{k,u} - \sum_{k \in K} \sum_{\{j|(j,i) \in A\}} x_{ji}^{k,u} = s_i^u, \quad \forall i \in N, \forall u \in U$$

$$x_{ij}^{k,u} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{\{j|(i,j) \in A\}} y_{ij}^k - \sum_{k \in K} \sum_{\{j|(j,i) \in A\}} y_{ji}^k = t_i, \quad \forall i \in N$$

$$y_{ij}^k \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K$$

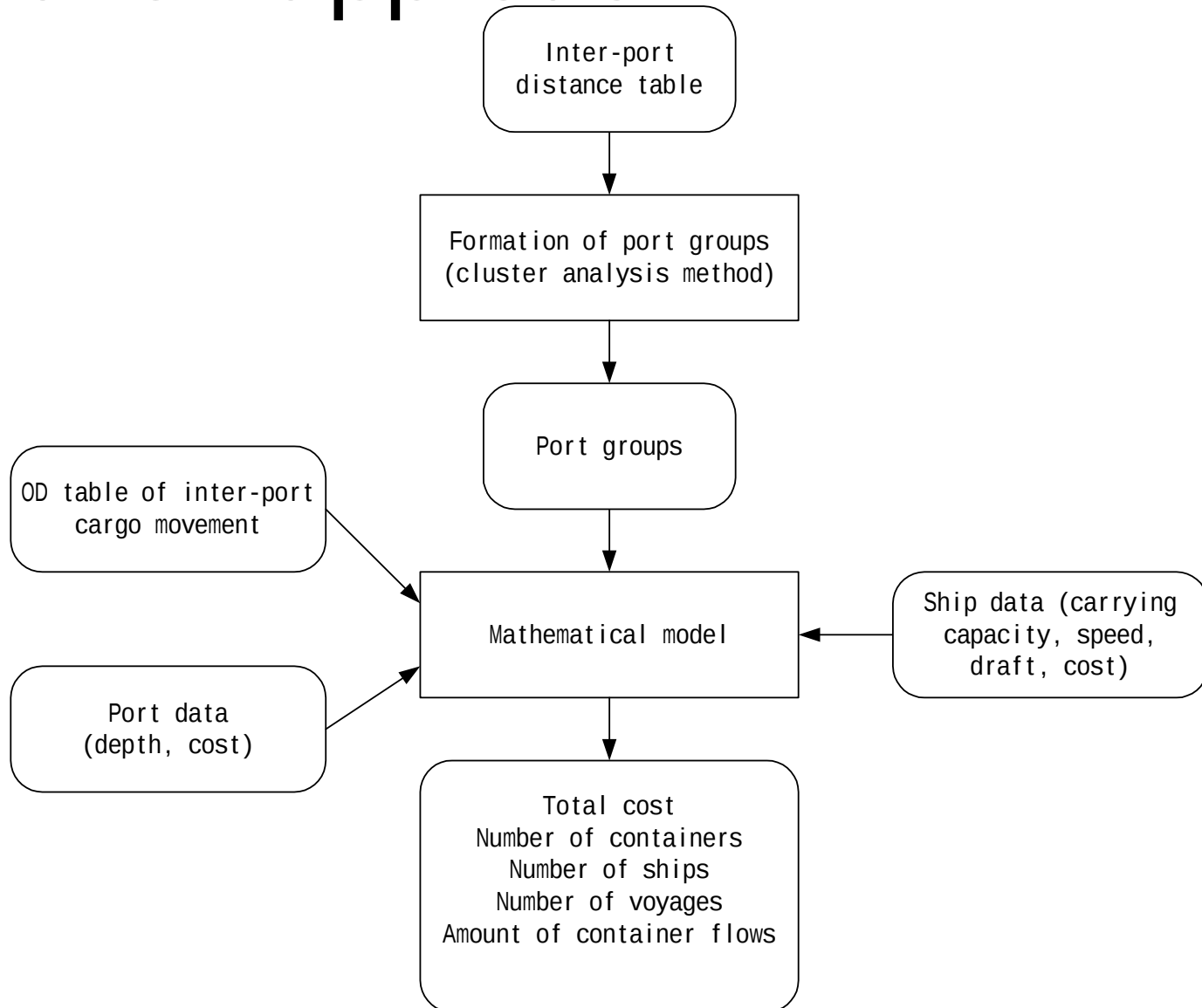
$$\sum_{u \in U} x_{ij}^{k,u} + y_{ij}^k \leq w_k \cdot f \cdot R_{ij}^k, \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{\{j|(i,j) \in A\}} f \cdot R_{ij}^k = \sum_{\{j|(j,i) \in A\}} f \cdot R_{ji}^k, \quad \forall k \in K$$

$$R_{ij}^k \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K$$

$$R_{ij}^k, R_{ji}^k = 0 \text{ for } h_i \geq D_k, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K$$

Solution approach



Data of the Indonesia Marine Transportation

- Selected ports
- Inter-port distance matrix
- OD matrix of inter-port cargo movement
- Ship and container cost data

Table of selected ports

No.	Port Name	Location	Depth (m)
1	Lhokseumawe	Aceh	9.5
2	Belawan	North Sumatera	7.0
3	Teluk Bayur	West Sumatera	9.5
4	Batam	Riau	10.0
5	Dumai	Riau	8.0
6	Jambi	Jambi	7.0
7	Palembang	South Sumatera	7.0
8	Bengkulu	Bengkulu	9.0
9	Panjang	Lampung	8.0
10	Tanjung Priok	Jakarta	7.0
11	Tanjung Emas	Central Java	9.0
12	Tanjung Perak	East Java	8.0
13	Benoa	Bali	5.0
14	Lembar	West Nusa Tenggara	7.0
15	Kupang	East Nusa Tenggara	7.0
16	Pontianak	West Kalimantan	6.0
17	Sampit	Central Kalimantan	6.0
18	Banjarmasin	South Kalimantan	7.0
19	Balikpapan	East Kalimantan	7.0
20	Bitung	North Sulawesi	7.0
21	Pantoloan	Central Sulawesi	7.0
22	Makassar	South Sulawesi	8.0
23	Kendari	South-East Sulawesi	6.0
24	Ambon	Maluku	7.0
25	Sorong	Irian Jaya	7.0

Source: Final Report – The Study on the Port Development Strategy in the Republic of Indonesia (The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, OCIDI), 1999.

Note: Water depth of Batam is estimated by authors

Map of selected ports



Inter-port distance matrix (mile)

(estimated by authors)

	Lhokseumawe	Bela	Teluk Bayu	Batam	Dumai	Jambi	Palembang	Bengkulu	Makassar	Kenda	Ambon	Sorong
Lhokseumawe	0.0	140.4	669.5	513.0	345.6	647.9	728.9	874.7	1549.7	1792.7	2132.8	2424.4
Bela	140.4	0.0	826.1	351.0	210.6	502.2	588.6	1025.9	1425.5	1700.9	2024.8	2294.8
Teluk Bayu	669.5	826.1	0.0	955.7	1079.9	890.9	799.1	221.4	1290.5	1555.1	1857.5	2213.8
Batam	513.0	351.0	955.7	0.0	151.2	189.0	264.6	755.9	1117.7	1414.7	1733.3	2062.6
Dumai	345.6	210.6	1079.9	151.2	0.0	259.2	388.8	880.1	1241.9	1517.3	1835.9	2165.2
Jambi	647.9	502.2	890.9	189.0	259.2	0.0	199.8	669.5	993.5	1268.9	1625.3	1609.1
Palembang	728.9	588.6	799.1	264.6	388.8	199.8	0.0	583.2	901.7	1166.3	1484.9	1868.3
Bengkulu	874.7	1025.9	221.4	755.9	880.1	669.5	583.2	0.0	1058.3	1333.7	1690.1	2062.6
Panajene	1004.3	842.3	475.2	523.8	647.9	448.2	356.4		853.1	1128.5	1468.7	1792.7
Tanjung Priok	955.7	809.9	550.8	502.2	594.0	426.6	329.4		777.5	982.7	1328.3	1630.7
Tanjung Emas	1144.7	961.1	766.7	626.3	766.7	577.8	491.4		577.8	820.7	1155.5	1506.5
Tanjung Perak	1258.1	1069.1	917.9	739.7	896.3	701.9	610.2		437.4	653.3	966.5	1295.9
Benoa	1393.1	1268.9	1085.3	917.9	1063.7	890.9	831.5		340.2	513.0	853.1	1182.5
Lembar	1403.9	1279.7	1171.7	928.7	1074.5	901.7	853.1		307.8	523.8	809.9	1150.1
Kupang	1954.6	1814.3	1619.9	1436.3	1560.5	1295.9	1241.9		502.2	394.2	496.8	809.9
Pontianak	874.7	691.1	907.1	324.0	502.2	356.4	356.4		793.7	1036.7	1425.5	1781.9
Sampit	1209.5	1036.7	998.9	696.5	842.3	674.9	610.2		448.2	701.9	1058.3	1349.9
Banjarmasin	1214.9	1085.3	1025.9	739.7	885.5	734.3	685.7		394.2	626.3	977.3	1295.9
Balikpapan	1560.5	1457.9	1322.9	1123.1	1214.9	1004.3	923.3		280.8	567.0	890.9	1268.9
Bitung	2257.0	2095.0	1960.0	1830.5	1916.8	1711.7	1614.5		653.3	351.0	372.6	426.6
Pantoloan	1646.9	1511.9	1393.1	1231.1	1360.7	1112.3	1036.7		324.0	610.2	939.5	917.9
Makassar	1549.7	1425.5	1290.5	1117.7	1241.9	993.5	901.7		0.0	334.8	642.5	901.7
Kenda	1792.7	1700.9	1555.1	1414.7	1517.3	1268.9	1166.3		333.7	334.8	0.0	329.4
Ambon	2132.8	2024.8	1857.5	1733.3	1835.9	1625.3	1484.9		642.5	329.4	0.0	280.8
Sorong	2424.4	2294.8	2213.8	2062.6	2165.2	1609.1	1868.3		901.7	561.6	280.8	0.0

OD matrix of inter-port cargo movement in year 1996 (tons/year) (Source: R & D Agency, MOC, 1997)

	w	Lhokseumawe	Bela	Teluk Bayur	Batam	Dumai	Jambi	Pale m		ulu	Makassar	Kenda	Ambon	Sorong
Lhokseumawe														
Bela				45,521	3,078	236,582								
Teluk Bayur			97,353			239				45,521				
Batam		45,549				77	101,019							
Dumai														
Jambi														
Pale m		a		b										
Bengkulu														
Panja														
Tanjung Priok			1,013,709	1,835	6,667						125,980			37,660
Tanjung Emas														
Tanjung Perak														
Benoa														
Lembar														
Kupang														
Pontianak														
Sampit														
Banjarmasi			n											
Balikpapan											8,584,860			
Bitung													116,303	
Pantoloan														
Makassar														
Kenda														
Ambon														
Sorong														

OD table of inter-port cargo movement in year 1996 (TEU/year)

	Lh o	Bela	Teluk	Batam	Dumai	Jambi	Pale m	Beng		asssar	Kenda	Ambon	Sorong
Lh o	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Bela	0	0	5690	384	29572	0	0			0	0	0	0
Teluk	0	12169	0	0	29	0	0			0	0	0	0
Batam	5693	0	0	0	9	12627	0			0	0	0	0
Dumai	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Jambi	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Pale m	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Bengkulu	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Panja	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Tanjung Pr	0	126713	229	833	0	0	747			0	15747	0	4707
Ta i	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Tanjung Pe	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Benoa	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Lemba	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Kupa	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Pontianak	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Sampit	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Banjarmas	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Bali	0	0	0	0	0	0	0			0	10 7	0	0
Bitung	0	0	0	0	0	0	0			0	0	14537	0
Pantoloan	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Makassar	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Kenda	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Ambon	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Sorong	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0

Estimation of Entrance, clearance, and handling costs

No.	Port Name	Location	Factor (%)	Entrance and clearance costs		Handling cost, c_6 (10^6 rupiahs)
				Variable component, c_4 (10^6 rupiahs per TEU)	Fixed component, c_5 (10^6 rupiahs)	
1	Lhokseumawe	Aceh	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
2	Belawan	North Sumatera	80	0.00020271	13.96226335	0.99248128
3	Teluk Bayur	West Sumatera	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
4	Batam	Riau	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
5	Dumai	Riau	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
6	Jambi	Jambi	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
7	Palembang	South Sumatera	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
8	Bengkulu	Bengkulu	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
9	Panjang	Lampung	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
10	Tanjung Priok ^a	Jakarta	100	0.00025339	17.45282919	1.24060160
11	Tanjung Emas	Central Java	90	0.00022805	15.70754627	1.11654144
12	Tanjung Perak	East Java	90	0.00022805	15.70754627	1.11654144
13	Benoa	Bali	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
14	Lembar	West Nusa Tenggara	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
15	Kupang	East Nusa Tenggara	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
16	Pontianak	West Kalimantan	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
17	Sampit	Central Kalimantan	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
18	Banjarmasin	South Kalimantan	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
19	Balikpapan	East Kalimantan	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
20	Bitung	North Sulawesi	70	0.00017738	12.21698043	0.86842112
21	Pantoloan	Central Sulawesi	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
22	Makassar	South Sulawesi	80	0.00020271	13.96226335	0.99248128
23	Kendari	South-East Sulawesi	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
24	Ambon	Maluku	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096
25	Sorong	Irian Jaya	60	0.00015204	10.47169751	0.74436096

Note:

^a Entrance, clearance, and handling costs of Tanjung Priok are estimated from the Japanese shipping companies. Costs of other ports are estimated as a percentage of the Tanjung Priok's costs.

Estimation of ship data

Ship type number	Maximum carrying capacity, w (TEU)	Speed, v (knot)	Draft, D (m)	Number of sailor, h_u	Price of ship, c_9 (10^6 rupiahs/TEU)
1	50	15.17	5.35	20.5	133.91899402
2	100	15.30	5.51	20.5	133.91899402
3	150	15.43	5.68	20.5	133.91899402
4	200	15.56	5.85	20.5	133.91899402
5	250	15.69	6.01	20.5	133.91899402
6	300	15.82	6.18	20.5	133.91899402
7	350	15.95	6.34	20.5	133.91899402
8	400	16.08	6.51	20.5	133.91899402
9	450	16.21	6.68	20.5	133.91899402
10	500	16.34	6.84	20.5	133.91899402

Estimation of other ship and container data

Description		Value
c_1	the price of the fuel oil (1,000,000 rupiahs per ton) ^a	$c_1 = (85.0)(7154.0)/1,000,000.0$
c_2	the coefficient of the fuel consumption ^a	$c_2 = 5.7117/1,000,000.0$
c_3	the coefficient of the displacement (gross ton per TEU) ^a	$c_3 = 19.073$
c_7	the coefficient of the tally charges ^a	$c_7 = 0.0905753968$
c_8	wages and crew expenses (1,000,000 rupiahs per one person) ^b	$c_8 = 9,632,783/1,000,000.0$
c_{10}	the coefficient of the ship maintenance cost ^b	$c_{10} = 0.007712$
c_{11}	the coefficient of the ship depreciation ^b	$c_{11} = (1.0-0.1)/25.0$
c_{12}	the coefficient of the ship interest ^b	$c_{12} = 0.007488$
c_{13}	the price of the container (1,000,000 rupiahs per TEU) ^a	$c_{13} = (2953.541)(7154.0)/1,000,000.0$
c_{14}	the coefficient of the container maintenance cost ^a	$c_{14} = 0.007712$
c_{15}	the coefficient of the container depreciation ^a	$c_{15} = (1.0-0.1)/8.0;$
c_{16}	The coefficient of the container interest ^a	$c_{16} = 0.007488$

^a Estimated from the Japanese shipping companies

^b Estimated from the Indonesian passenger ship

Dendrogram that shows the formation of port groups

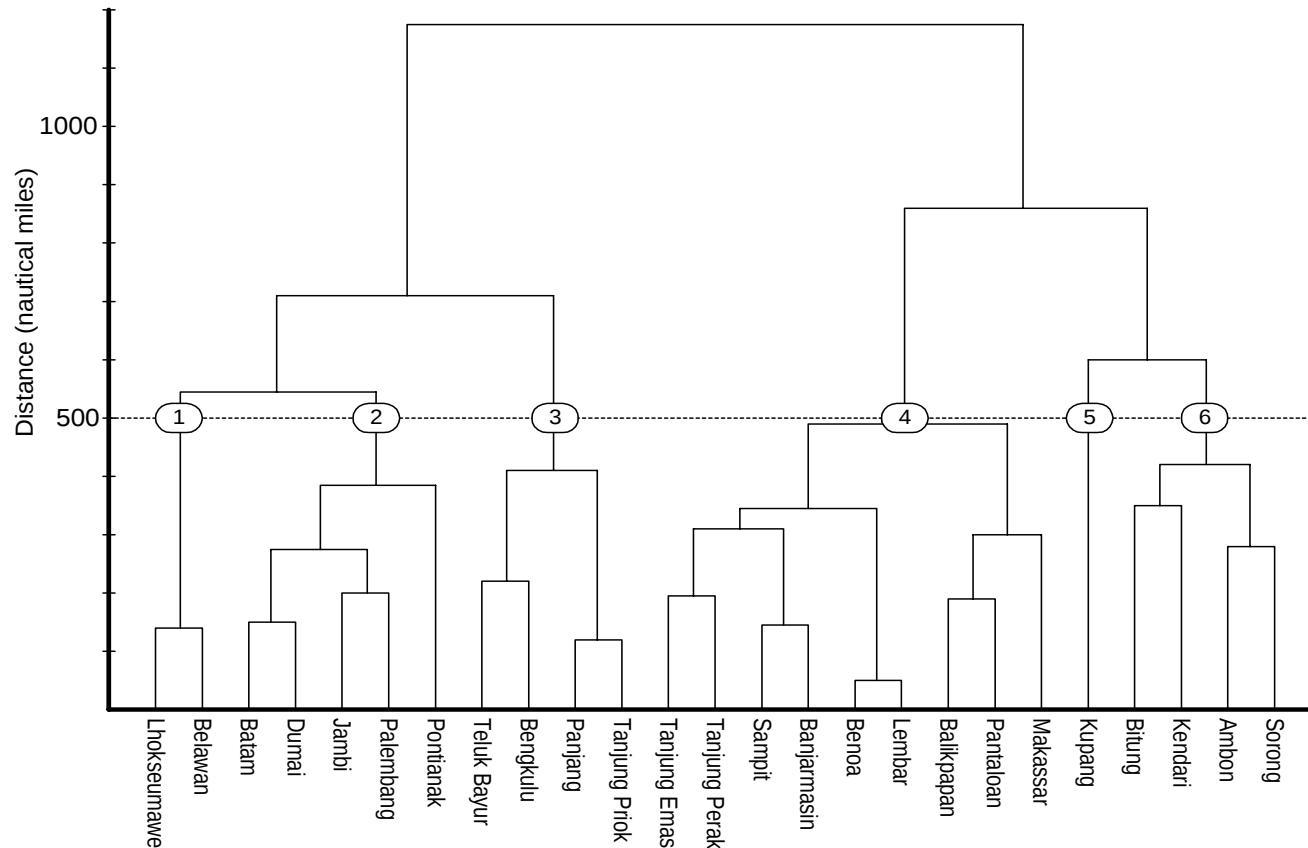
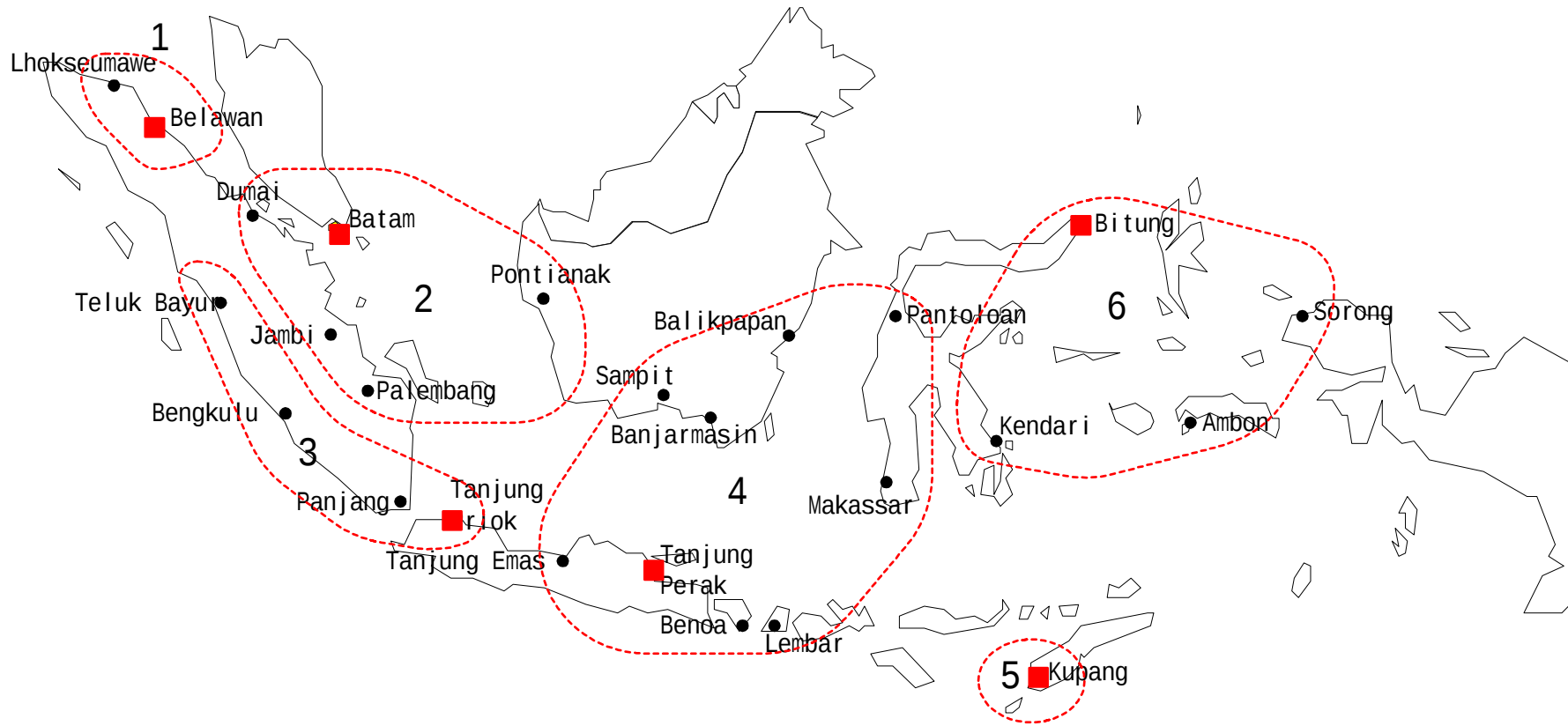


Table of port groups

Group	Main port	Branch ports
1	Belawan	Lhokseumawe
2	Batam	Dumai, Jambi, Palembang, Pontianak
3	Tanjung Priok	Teluk Bayur, Pulau Baai, Panjang
4	Tanjung Perak	Tanjung Emas, Benoa, Lembar, Sampit, Banjarmasin, Balikpapan, Pantalaon, Makassar
5	Kupang	
6	Bitung	Kendari, Ambon, Sorong

Map of port groups

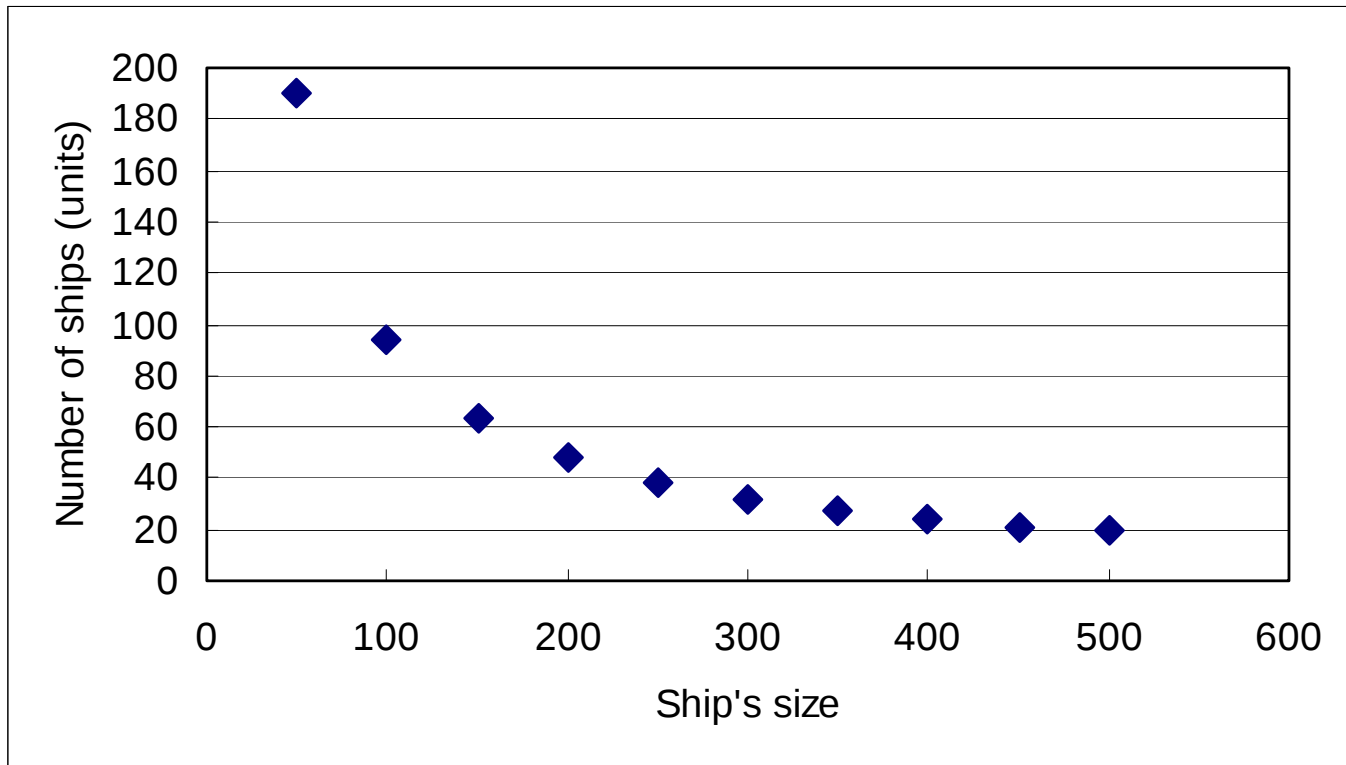


Computational Results

- Computational results of the main lines without the water depth restriction
- Computational results of the main lines with water depth restriction for main lines
- Computational results of the branch lines

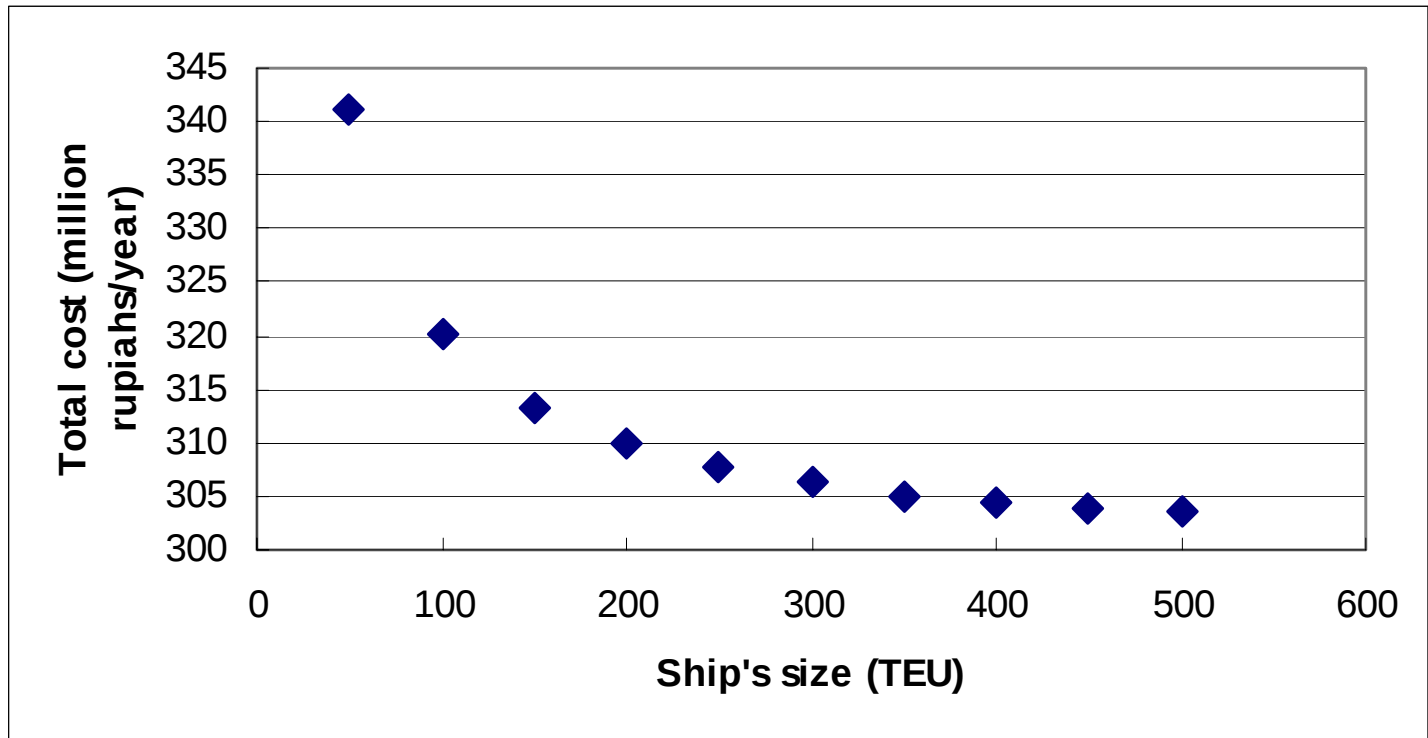
Computational results of the main lines with the water depth restriction

Relationship between ship's size and number of ships



Computational results of the main lines with the water depth restriction

Relationship between ship's size and total cost



Computational results of the main lines with the water depth restriction

Number of voyages (times per week) in the main lines using a ship type of 500 TEU

From	To	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan			1	13	1	0	0
Batam		1		2	0	0	0
Tanjung Priok		11	1		5	0	2
Tanjung Perak		3	1	4		0	0
Kupang		0	0	0	0		0
Bitung		0	0	0	2	0	

Computational results of the main lines with the water depth restriction

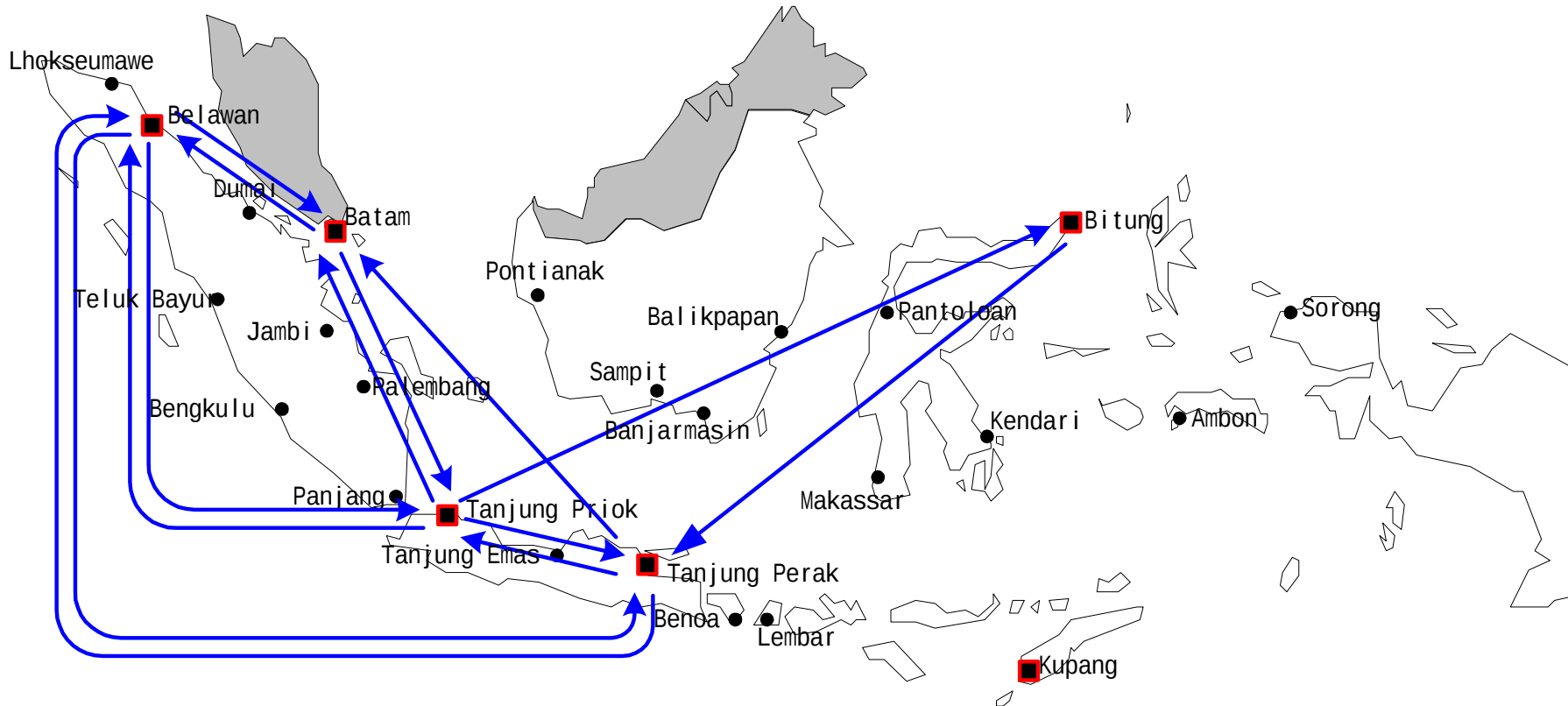
Amount of container flows (TEU/year) in the main lines using a ship type of 500 TEU

From \ To	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan		26,000 0	326,733 0	26,000 0	0 0	0 0
Batam	5,693 16,680		50,588 0	0 0	0 0	0 0
Tanjung Priok	138,882 147,118	14,656 6,305		130,000 0	0 0	44,360 0
Tanjung Perak	1,726 68,634	26,000 0	104,000 0		0 0	0 0
Kupang	0 0	0 0	0 0	0 0		0 0
Bitung	0 0	0 0	0 0	38,786 5,574	0 0	

[upper is filled and lower is empty containers]

Computational results of the main lines with the water depth restriction

Voyage map of the main line (ship type of 500 TEU)



Computational results of the main lines with the water depth restriction

List of cases for applying the model with restriction of the water depth restriction

No. of case	Description
1	Ship with a size of 50 TEU
2	Ship with sizes of 50 and 100 TEU
3	Ship with sizes of 50 and 150 TEU
4	Ship with sizes of 50 and 200 TEU
5	Ship with sizes of 50 and 250 TEU
6	Ship with sizes of 50 and 300 TEU
7	Ship with sizes of 50 and 350 TEU
8	Ship with sizes of 50 and 400 TEU
9	Ship with sizes of 50 and 450 TEU
10	Ship with sizes of 50 and 500 TEU

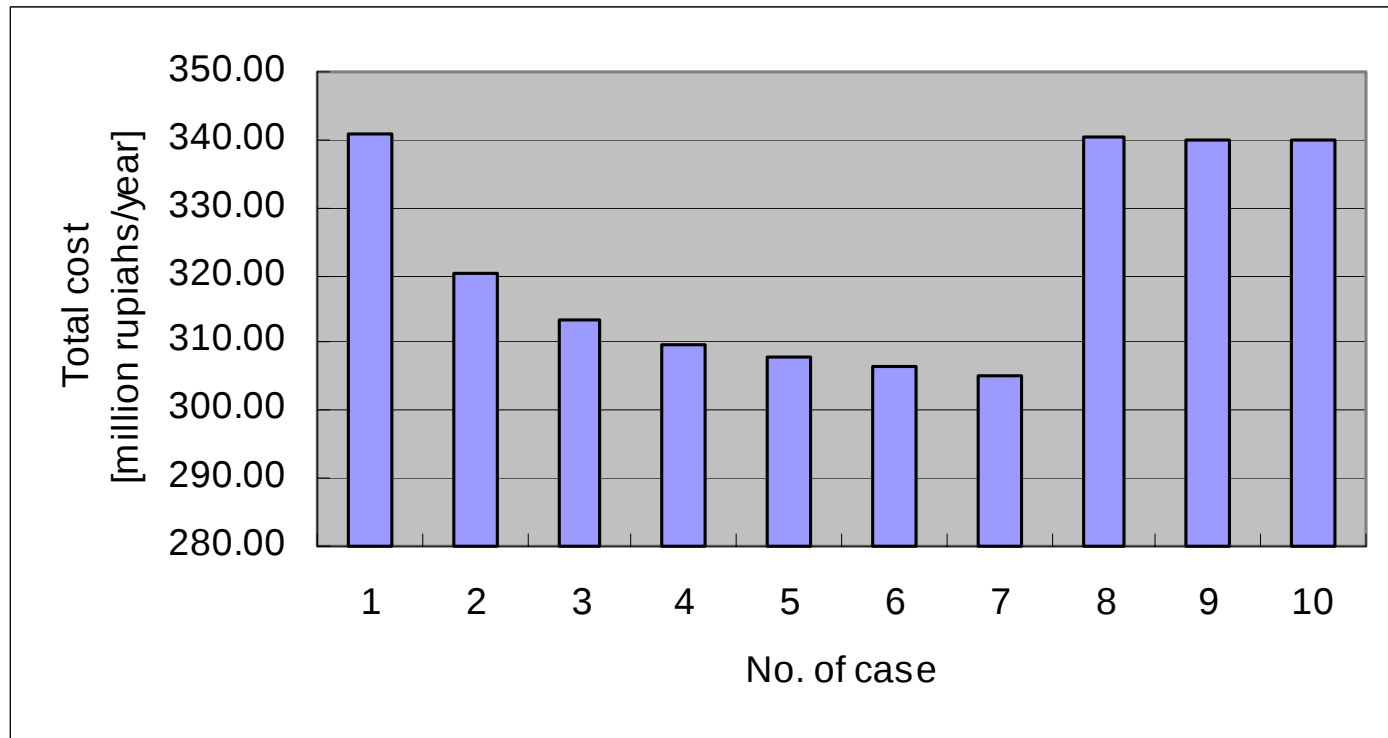
Computational results of the main lines with the water depth restriction

Number of ships for each case

No. of case	Ship's size (TEU)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1	189.85									
2	0	94.53								
3	0		63.28							
4	0			47.69						
5	0				38.19					
6	4.14					30.41				
7	0						26.83			
8	183.84							0.83		
9	183.13								0.83	
10	182.57									0.82

Computational results of the main lines with the water depth restriction

Total cost for each case



Computational results of the main lines with the water depth restriction

Number of voyages (times/week) in the main line for case 7

Ship type of 50 TEU

From	To	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan			0	0	0	0	0
Batam		0		0	0	0	0
Tanjung Priok		0	0		0	0	0
Tanjung Perak		0	0	0		0	0
Kupang		0	0	0	0		0
Bitung		0	0	0	0	0	

Ship type of 350 TEU

From	To	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan			2	17	2	0	0
Batam		1		2	1	0	0
Tanjung Priok		16	1		7	0	2
Tanjung Perak		4	1	7		0	0
Kupang		0	0	0	0		0
Bitung		0	0	0	2	0	

Computational results of the main lines with the water depth restriction

Amount of container flows (TEU/year) in the main lines for case 7

*Ship type of 50
TEU*

To From	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan		0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Batam	0 0		0 0	0 0	0 0	0 0
Tanjung Priok	0 0	0 0		0 0	0 0	0 0
Tanjung Perak	0 0	0 0	0 0		0 0	0 0
Kupang	0 0	0 0	0 0	0 0		0 0
Bitung	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	

[upper parts: filled container flows , lower parts: empty container flows]

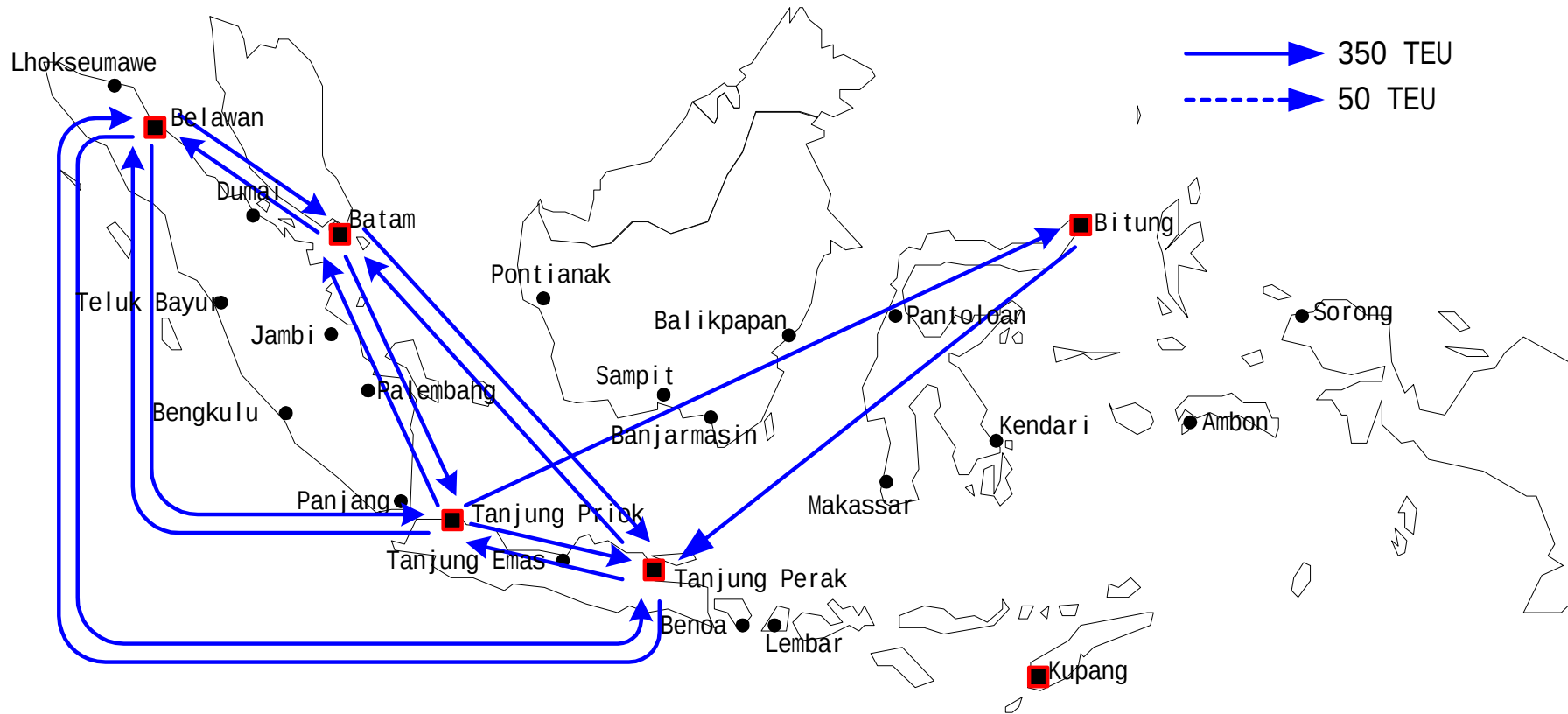
*Ship type of 350
TEU*

To From	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan		35,034 0	309,400 0	36,400 0	0 0	0 0
Batam	6,798 10,375		36,400 0	17,861 0	0 0	0 0
Tanjung Priok	137,777 153,423	18,200 0		127,400 0	0 0	35,648 0
Tanjung Perak	3,827 68,634	18,200 0	126,648 0		0 0	0 0
Kupang	0 0	0 0	0 0	0 0		0 0
Bitung	0 0	0 0	0 0	30,074 5,574	0 0	

[upper parts: filled container flows , lower parts: empty container flows]

Computational results of the main lines with the water depth restriction

Voyage map of the main lines voyages for case 7



Computational results of the main lines with the water depth restriction

Number of voyages (times/week) in the main line for case 8

Ship type of 50 TEU

From To	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan		18	124	4	0	0
Batam	7		16	0	0	0
Tanjung Priok	112	4		52	0	14
Tanjung Perak	24	1	42		0	0
Kupang	0	0	0	0		0
Bitung	3	0	0	11	0	

Ship type of 400 TEU

From To	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan		0	0	0	0	0
Batam	0		0	1	0	0
Tanjung Priok	0	0		0	0	0
Tanjung Perak	0	1	0		0	0
Kupang	0	0	0	0		0
Bitung	0	0	0	0	0	

Computational results of the main lines with the water depth restriction

Amount of container flows (TEU/year) in the main lines for case 8

*Ship type of 50
TEU*

To From	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan		46,787 0	321,648 0	10,400 0	0 0	0 0
Batam	7,152 11,035		41,600 0	0 0	0 0	0 0
Tanjung Priok	139,251 151,949	10,400 0		135,200 0	0 0	34,174 1,474
Tanjung Perak	0 62,400	2,386 0	109,200 0		0 0	0 0
Kupang	0 0	0 0	0 0	0 0		0 0
Bitung	0 7,048	0 0	0 0	28,600 0	0 0	

[upper parts: filled container flows , lower parts: empty container flows]

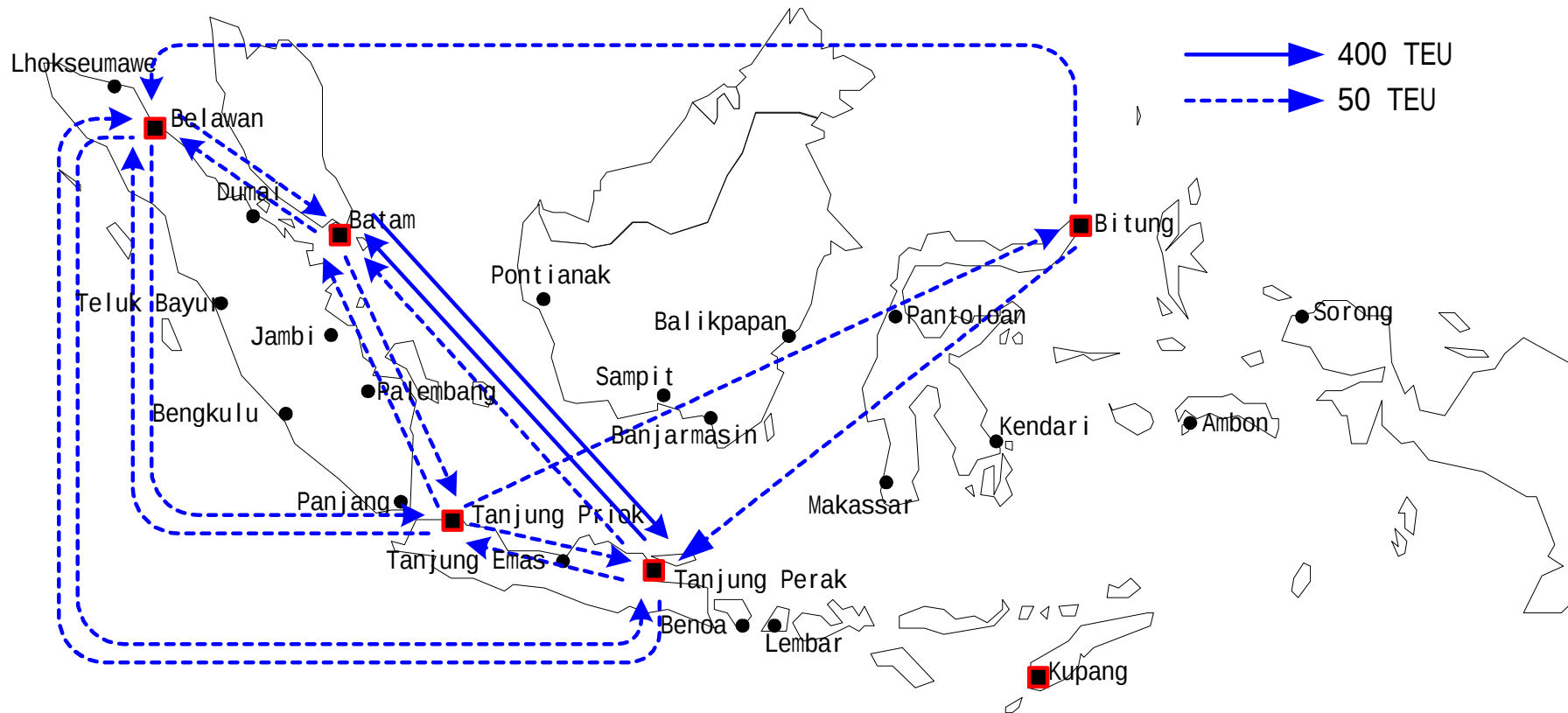
*Ship type of 400
TEU*

To From	Belawan	Batam	Tanjung Priok	Tanjung Perak	Kupang	Bitung
Belawan		0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Batam	0 0		0 0	20,586 0	0 0	0 0
Tanjung Priok	0 0	0 0		0 0	0 0	0 0
Tanjung Perak	0 0	20,140 660	0 0		0 0	0 0
Kupang	0 0	0 0	0 0	0 0		0 0
Bitung	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	

[upper parts: filled container flows , lower parts: empty container flows]

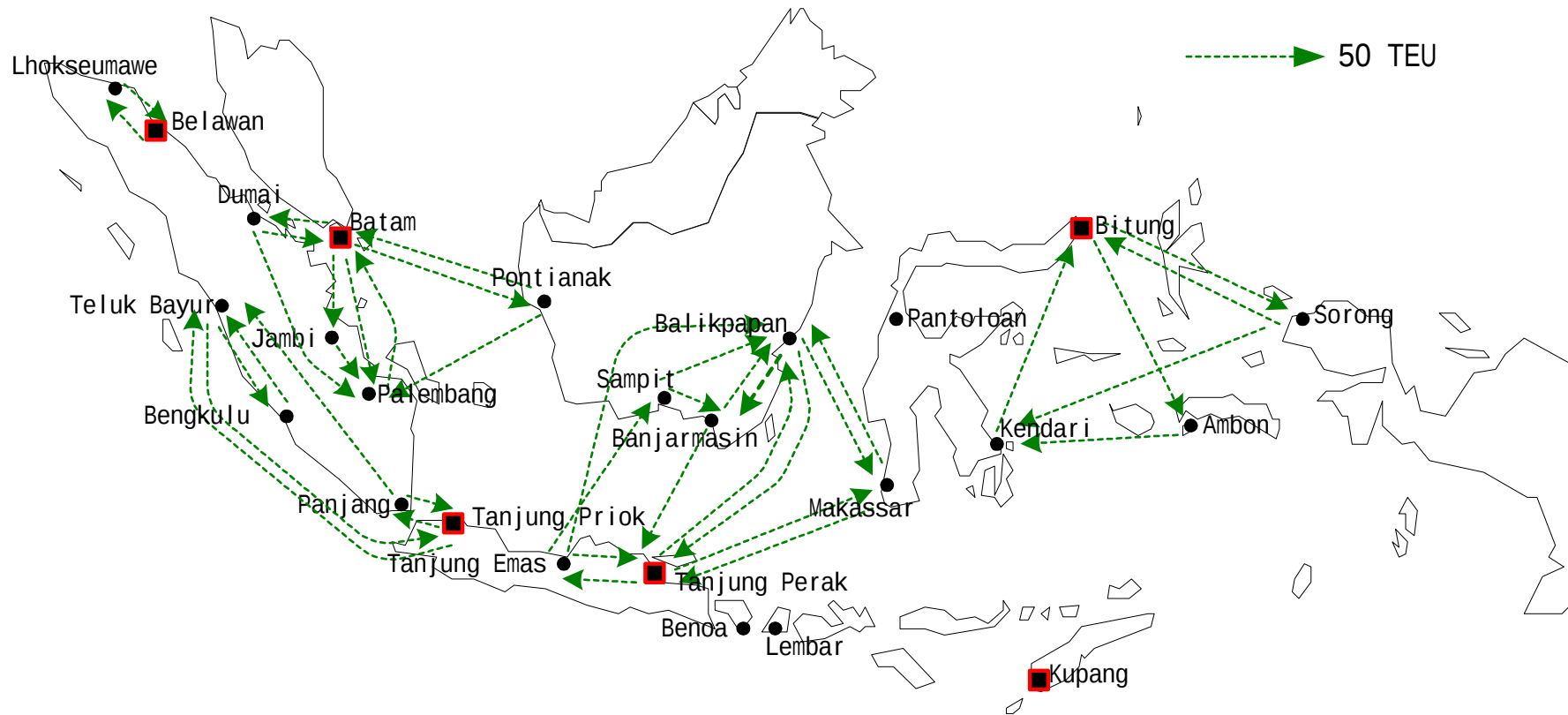
Computational results of the main lines with the water depth restriction

Voyage map of the main lines voyages for case 8



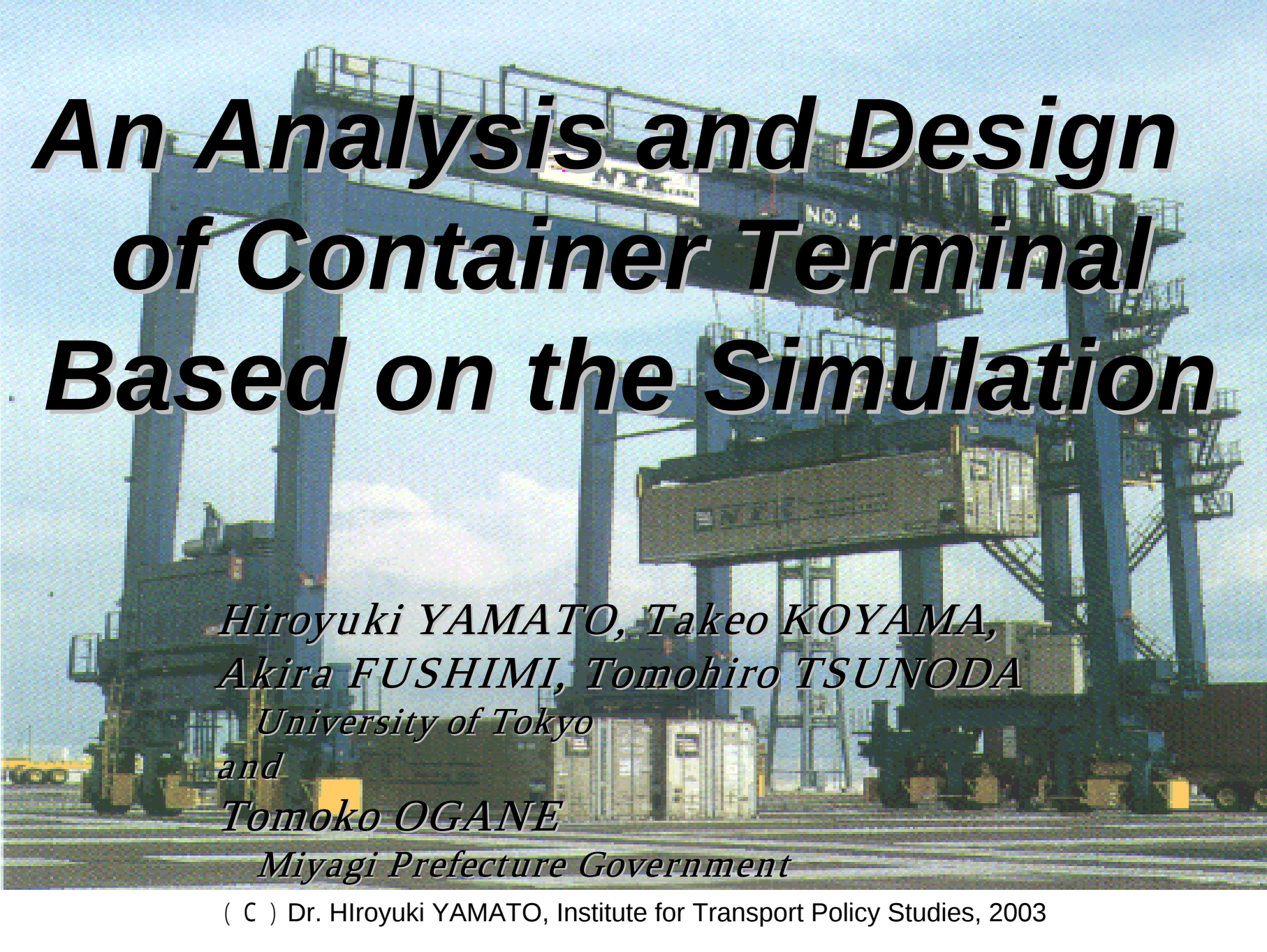
Computational results of the branch lines

Voyage map of the branch lines



Concluding remarks

- An efficient marine transportation network can be built using mathematical programming
- To give better results, it is important to get more accurate data such as distance, OD, costs, and so on



An Analysis and Design of Container Terminal Based on the Simulation

*Hiroyuki YAMATO, Takeo KOYAMA,
Akira FUSHIMI, Tomohiro TSUNODA
University of Tokyo
and
Tomoko OGANE
Miyagi Prefecture Government*

A Bird's-Eye View of a Container Terminal in Yokohama. No. 7

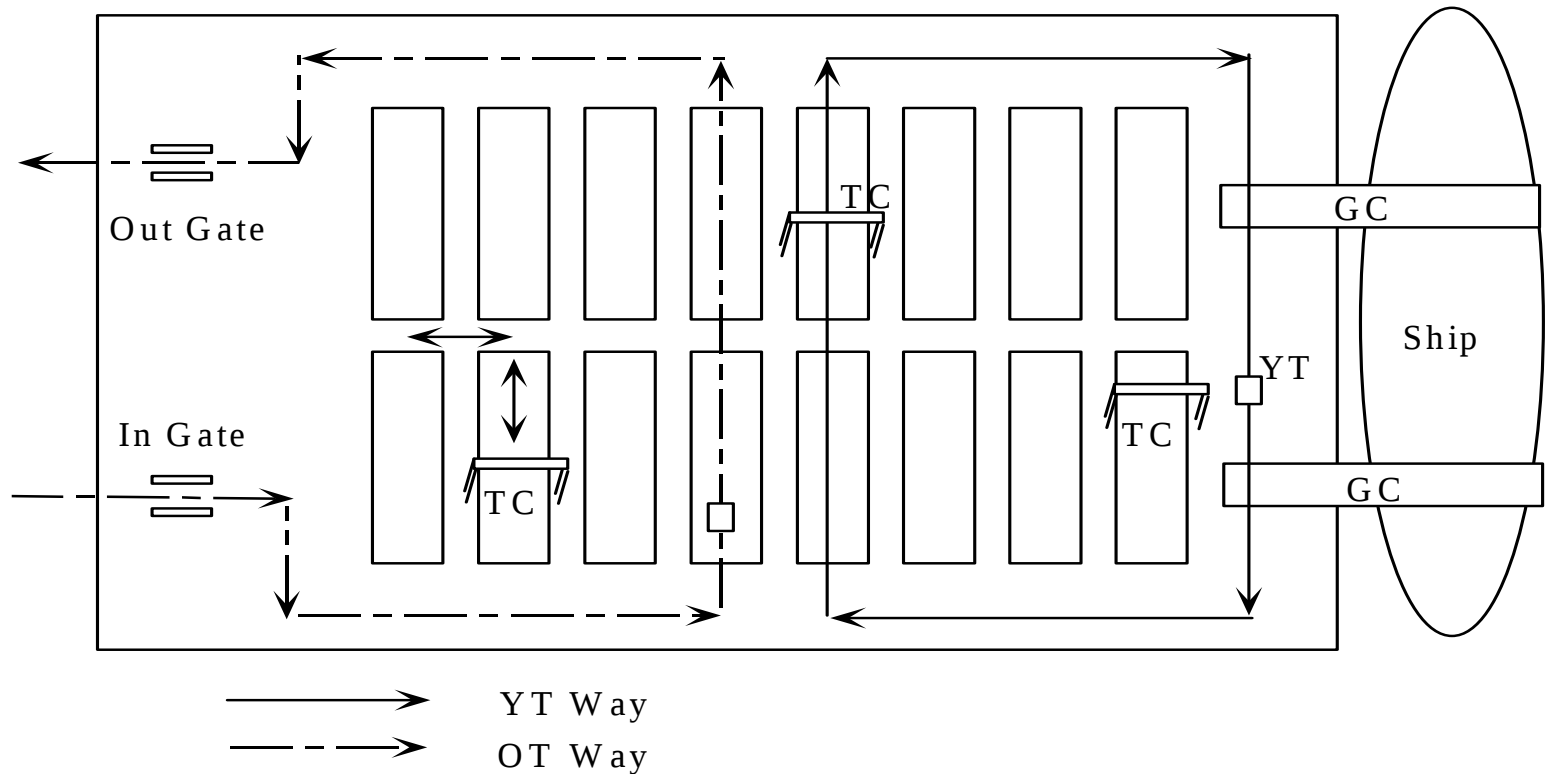


Introduction

- An Important Connection
 - Machinery
 - Operational strategies.
- The Design in the Past
 - Based on the past experience.
 - It can not refer to the dynamic and
operational properties
- Prototype Simulator in this paper
 - The process-oriented software ARENA
 - Revising Watanabe's baseline design.
 - Excluding the operational uncertainties

Container Terminal

The container terminal consists of transfer cranes

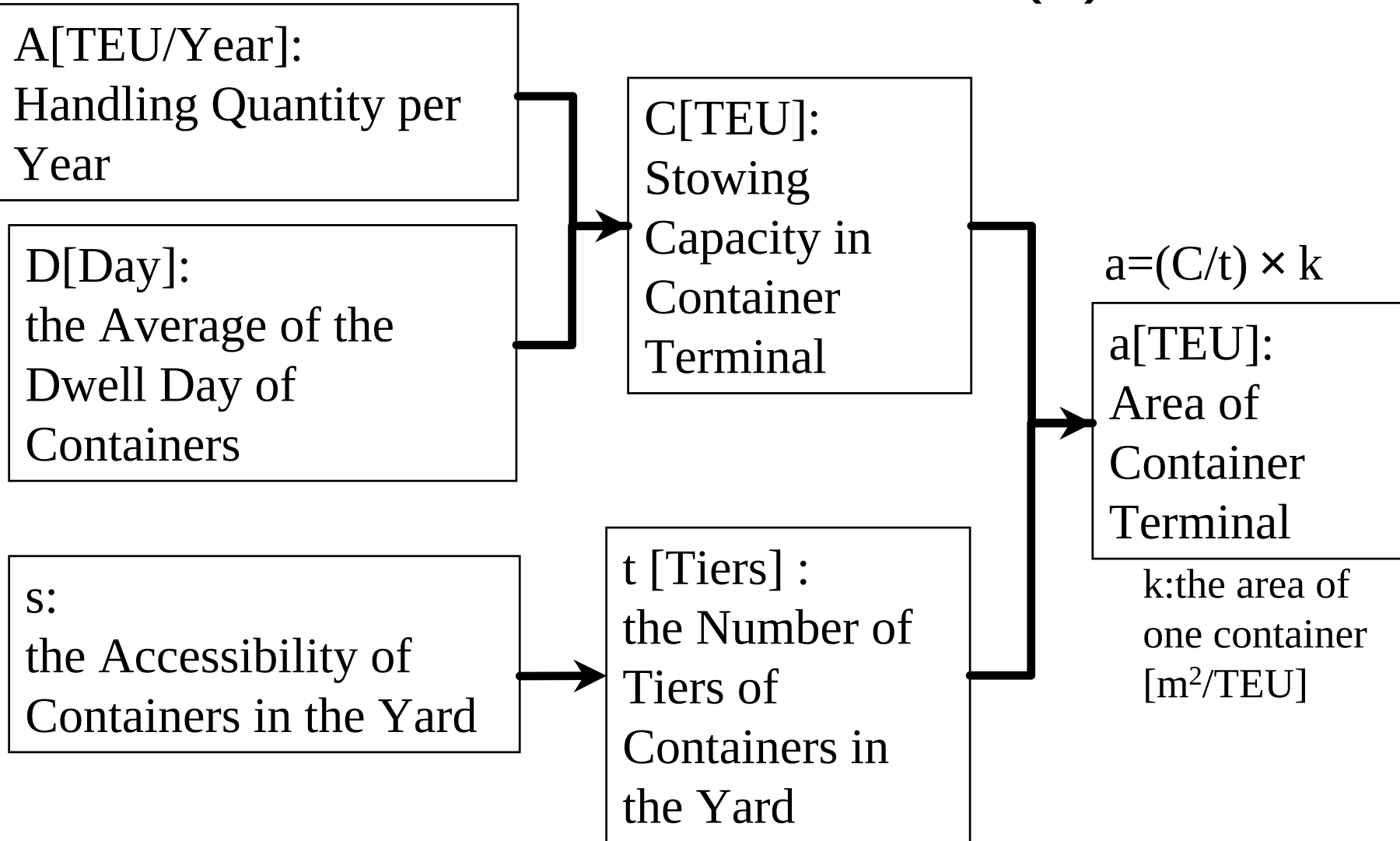


We expressed the elements in the terminal **as object**.

To design the movement of the elements in detail.

Watanabe's Method (2)

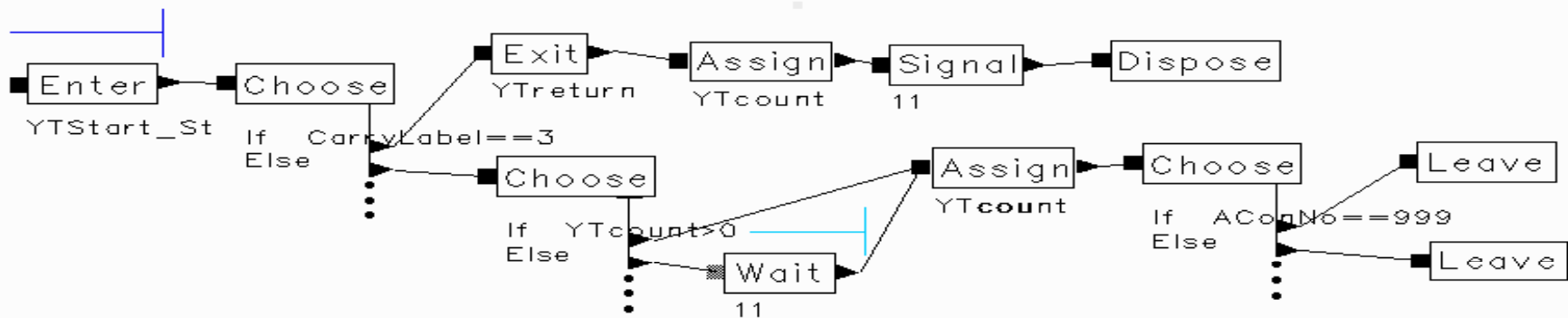
No.73



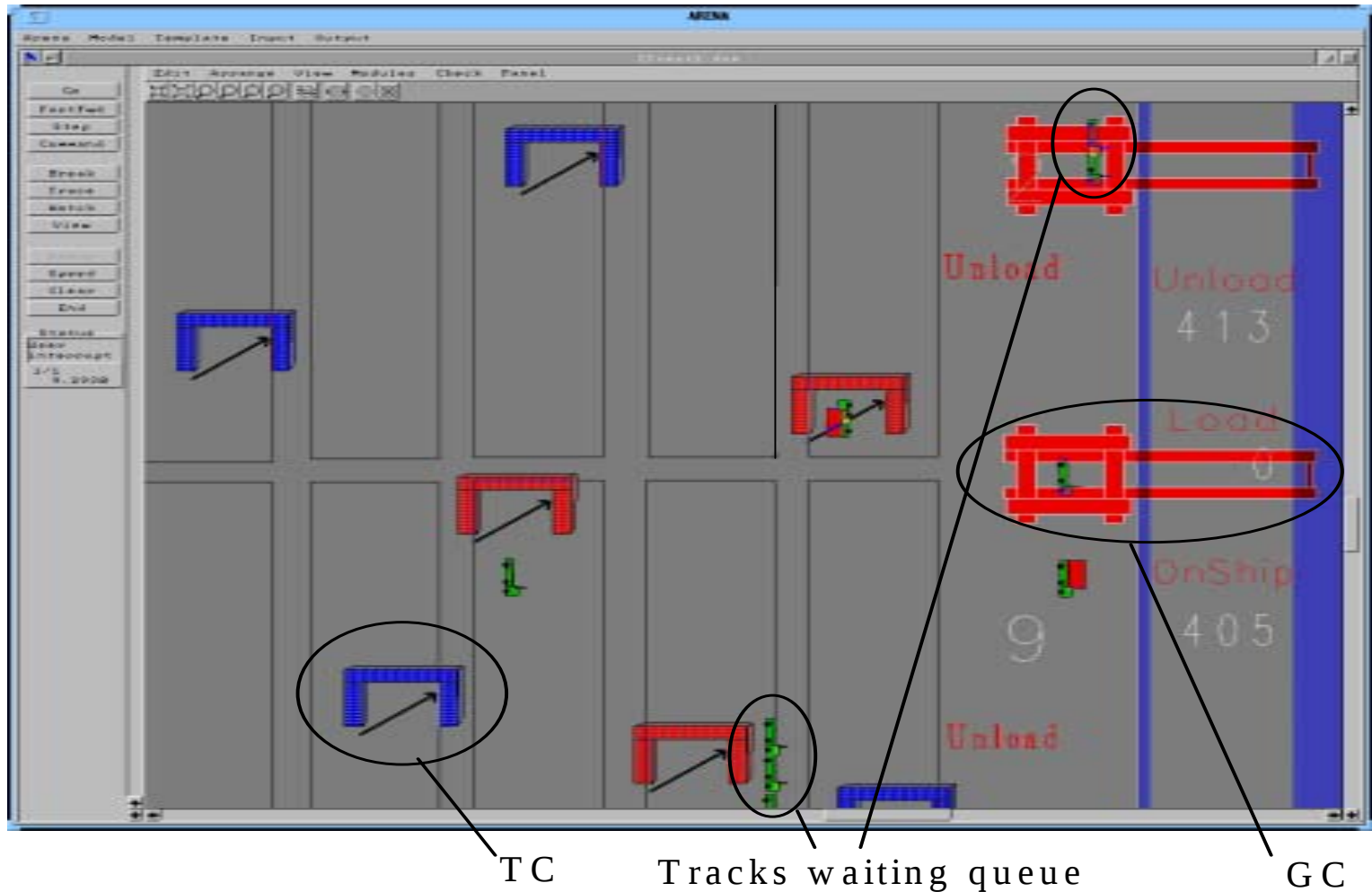
Simulation Coding by ARENA

ARENA

- A process oriented discrete event simulator.
- Modeling by connecting many modules.



Simulation on ARENA



The problem of the container terminal can be found **visually**.

Design of the container terminal

Example

- Oi Pier, Tokyo

- 1Berth

193659 [TEU/year]

- at the peak

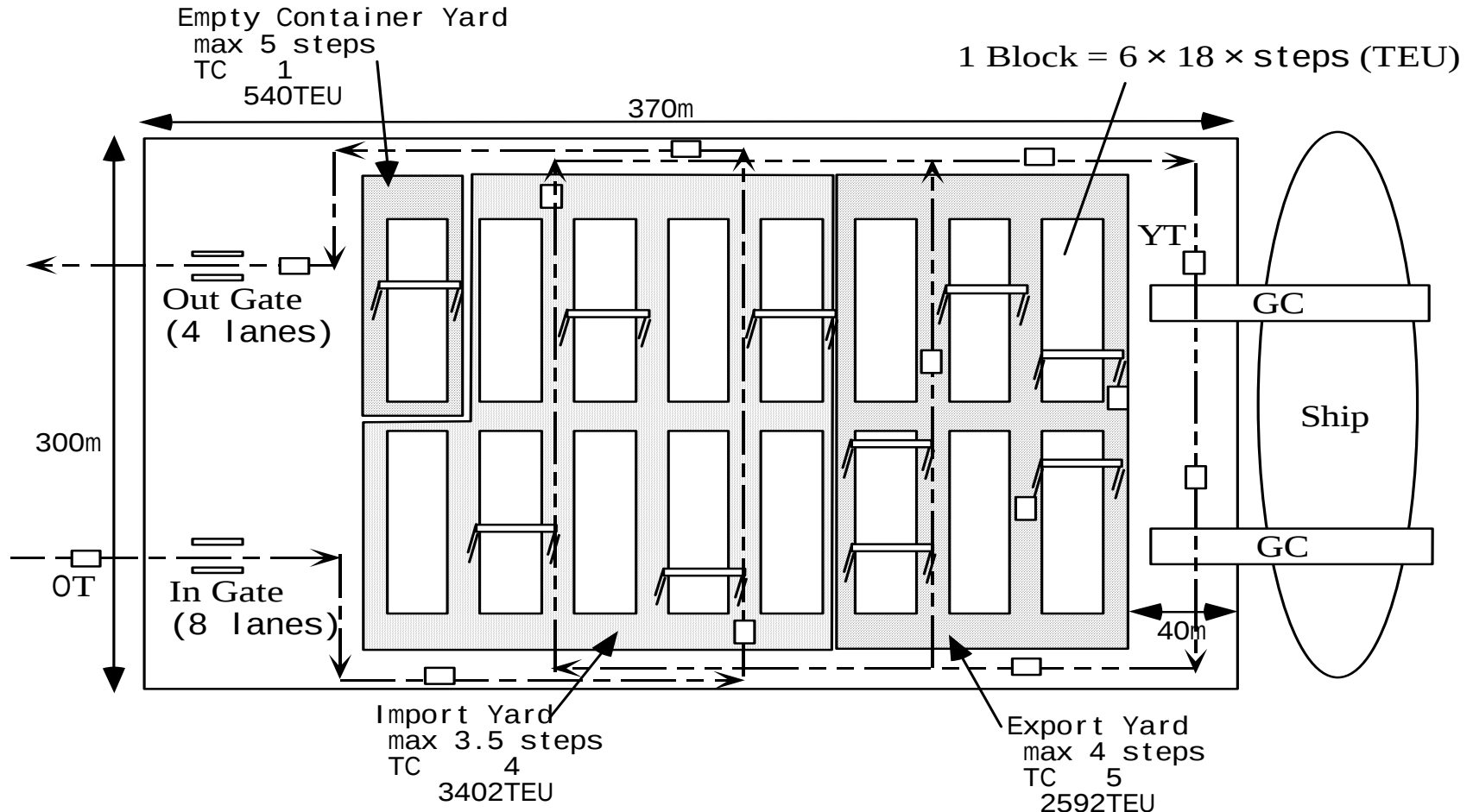
5170[TEU/week]

Baseline Design(1)

No.77

Design in static with Watanabe's method

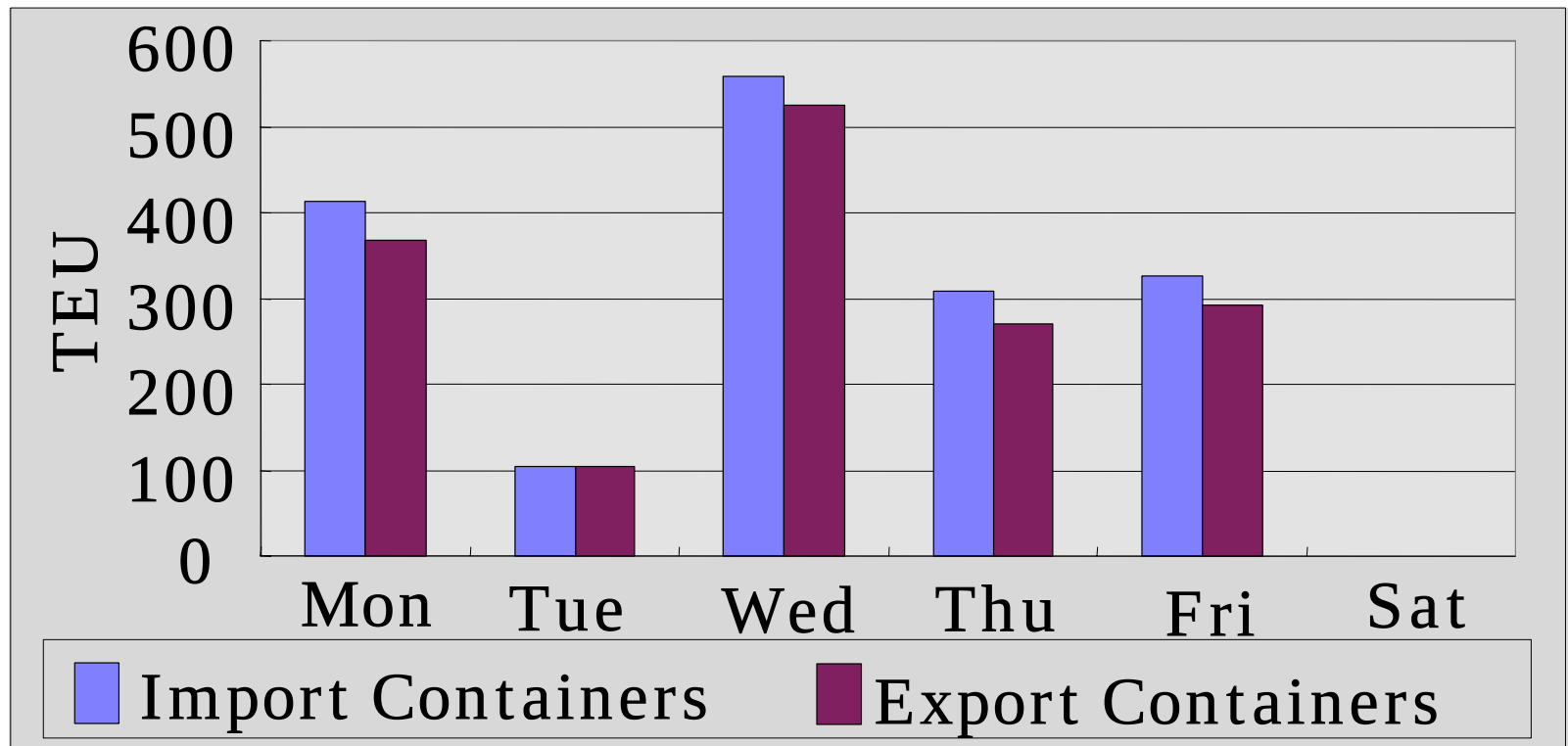
· total space $300 \times 370\text{m}^2 = 11.1\text{ha}$



Baseline Design(2)

No.78

The number of import and export containers in a week

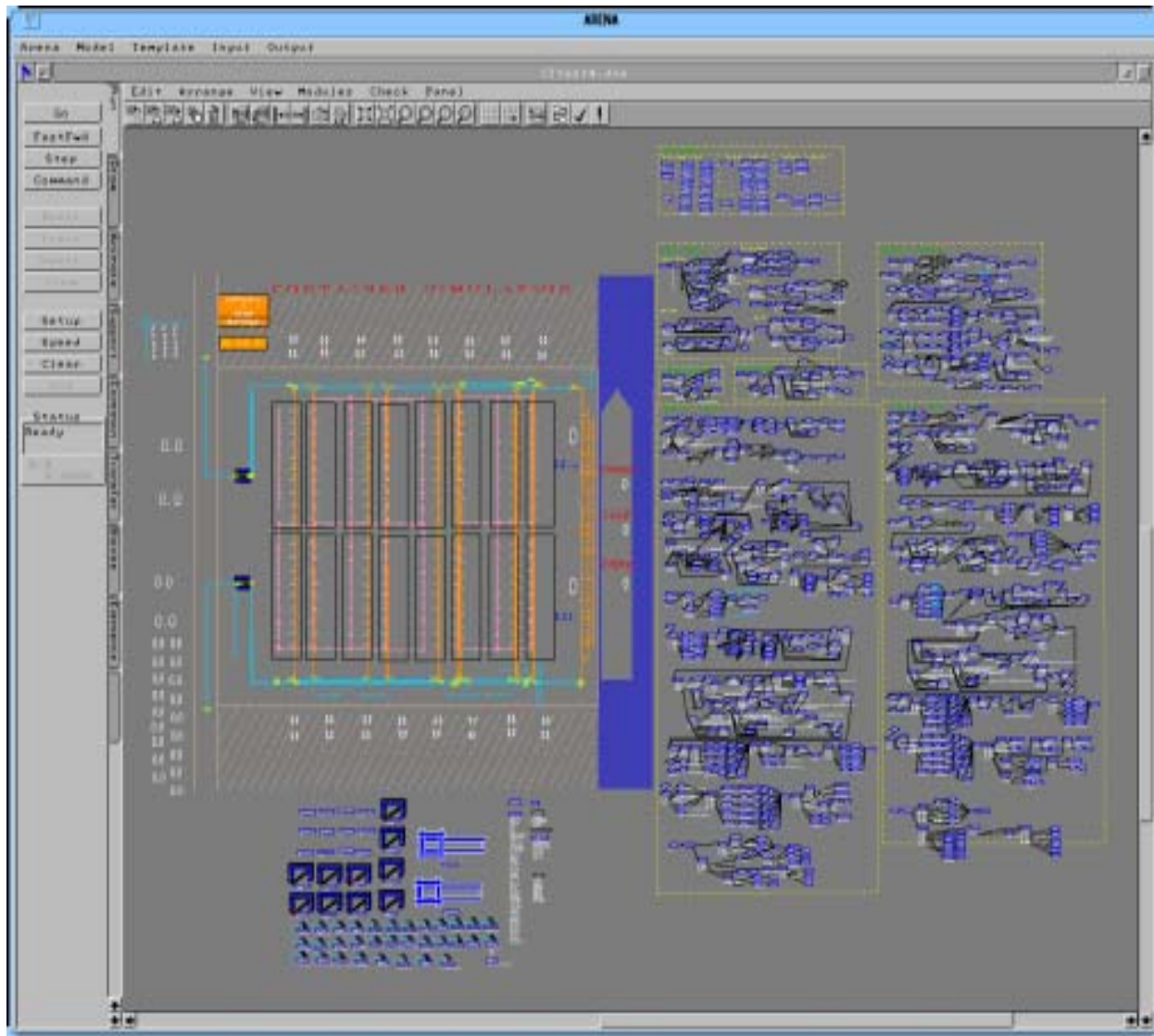


- Import 2480 TEU · Export 2690 TEU
- Busiest in Wednesday.

Requirements

- 1.All ships can depart from a port in a day.
- 2.The average time of OT in the terminal is less than 25min.

Simulation Model on ARENA

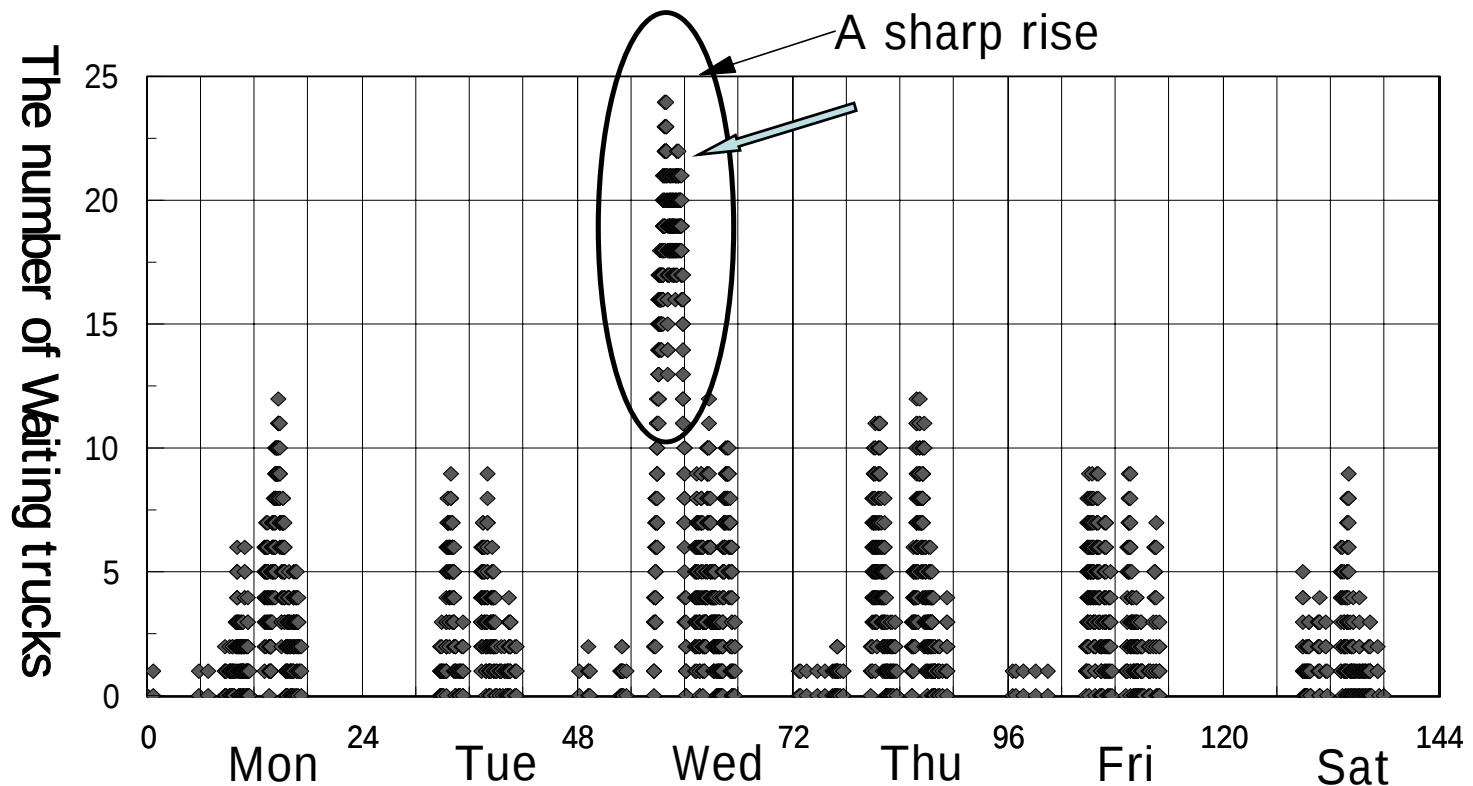


(C) Dr. Hiroyuki YAMATO, Institute for Transport Policy Studies, 2003

Results of Design by Simulation

The base design satisfied requirements.

The number of waiting trucks at the import yard



Revision 1 (1)

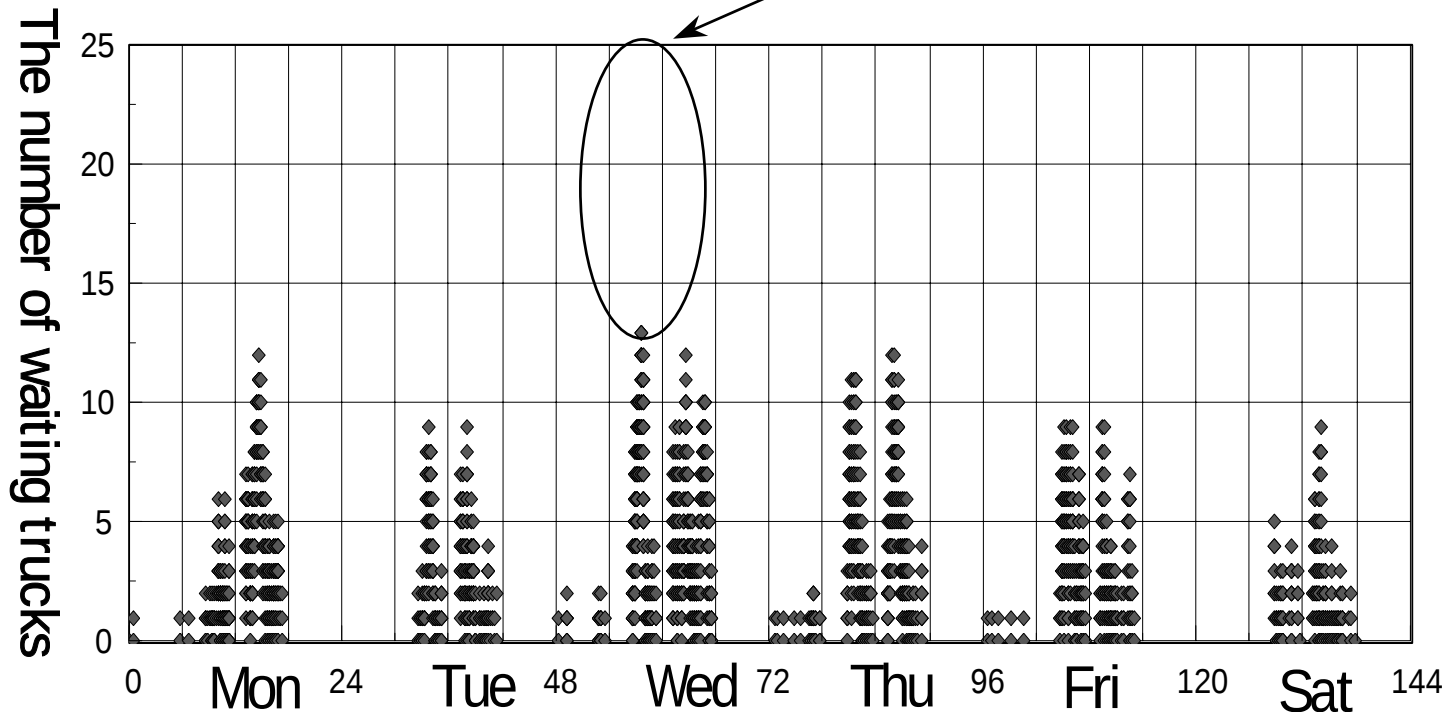
To reduce the number of queues on Wednesday

1. To limit the number of YT and OT in import yard.
2. To transfer one TC from export yard to import yard.
3. To place the import containers in export yard temporarily.

Revision 1 (2)

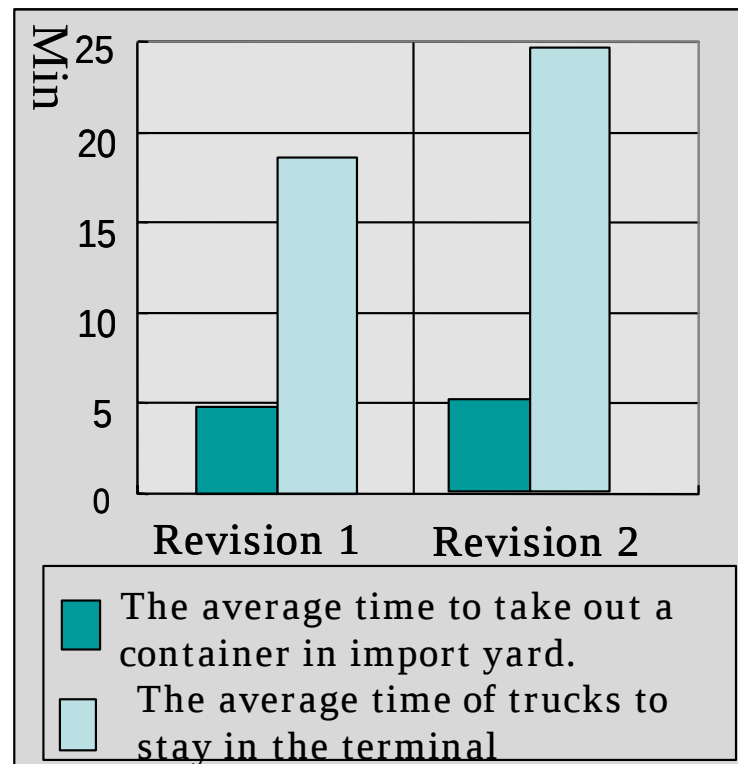
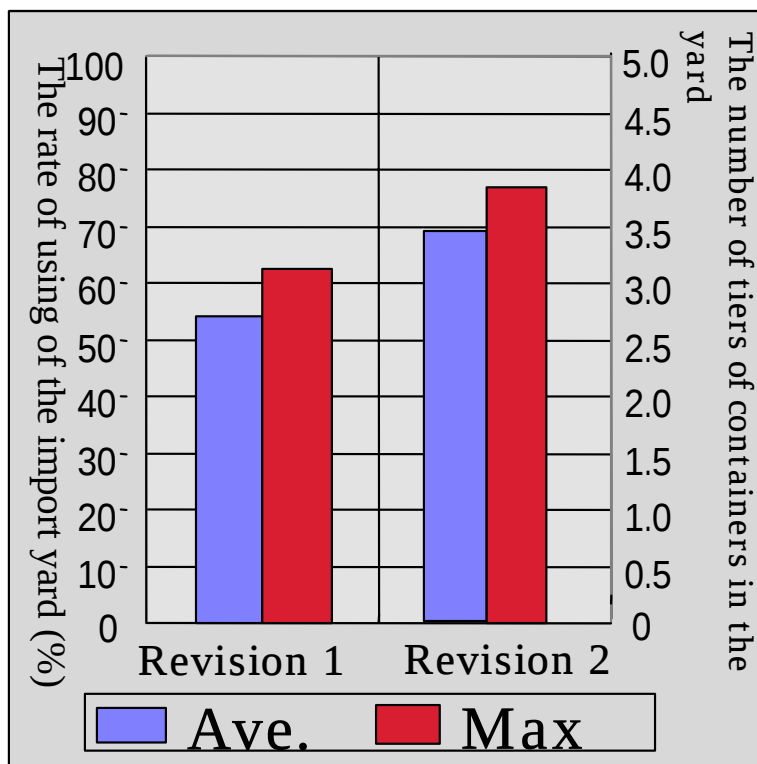
Case 2

Reduce the number of queues.
The number of waiting trucks at the import yard (revised design 1)



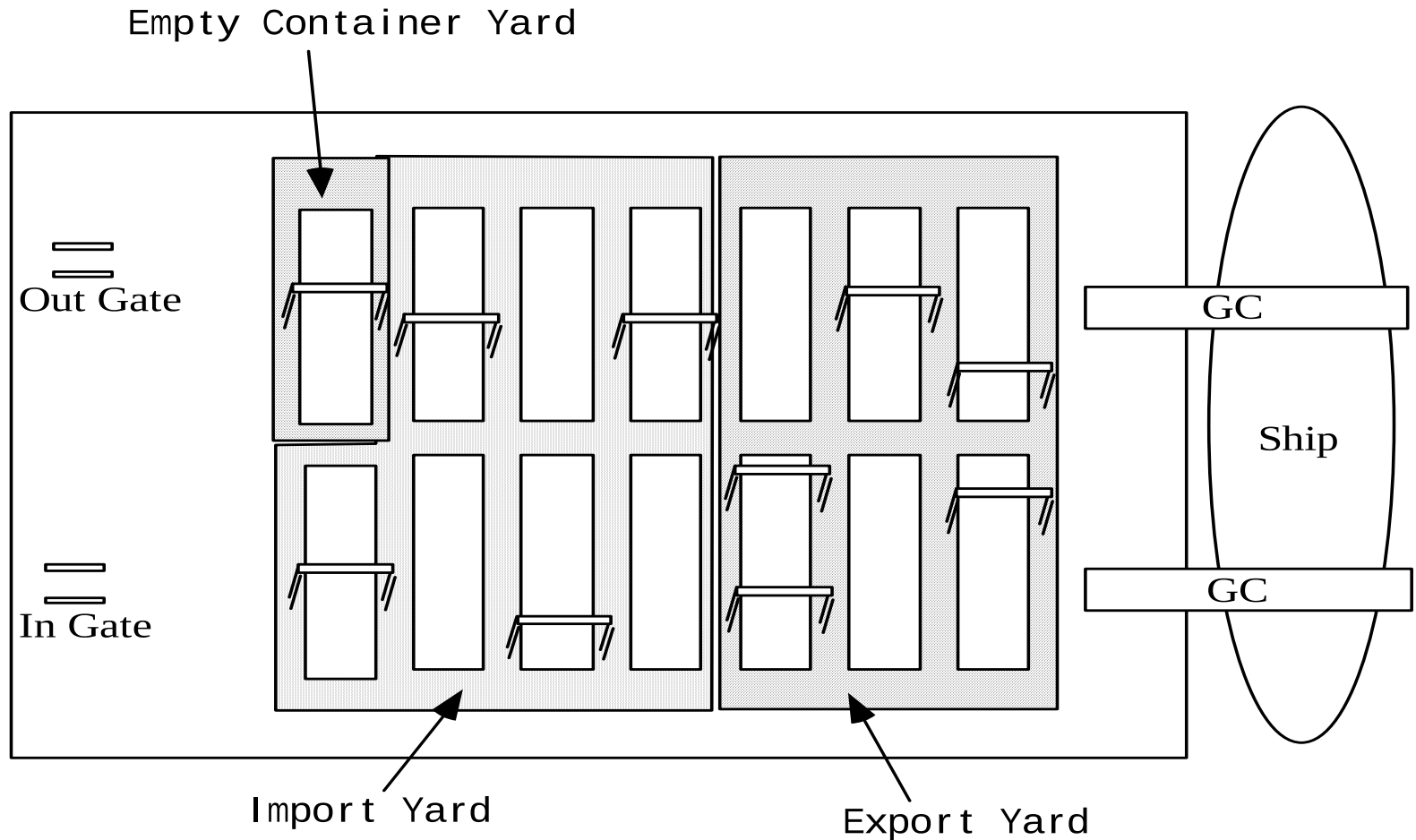
Revision 2 (1)

The number of tiers in the import yard is increased.



Revision 2 (2)

No.85



- Two blocks smaller than Revision 1.

Conclusions

- The design method of the container terminal based on the simulation is proposed.
- One example design with revision illustrated effectiveness.
- This can take the operational properties into consideration at the design stage.
- It leads the efficient way to design a container terminal on a firm basis and in detail.



(C) Dr. Hiroyuki YAMATO, Institute for Transport Policy Studies, 2003

まとめ

- 造船をバックグラウンドとして物流研究に着手した。
- ハードウェアの仕様まで出す。
- 物流情報、ネットワーク設定、シミュレーションにより設定する。
- 長い研究の基礎としたい。

物流ネットワークシミュレータの 開発と国内物流に適合した船舶 の試設計

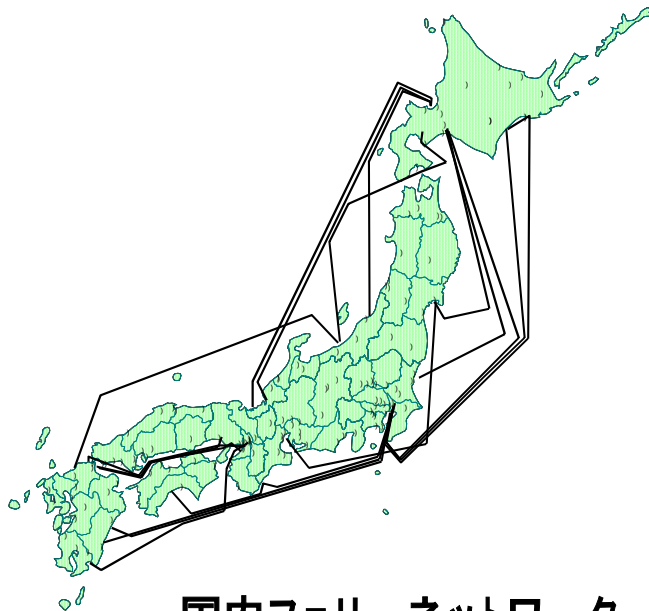
東京大学
大和裕幸・宮田秀明

第1部

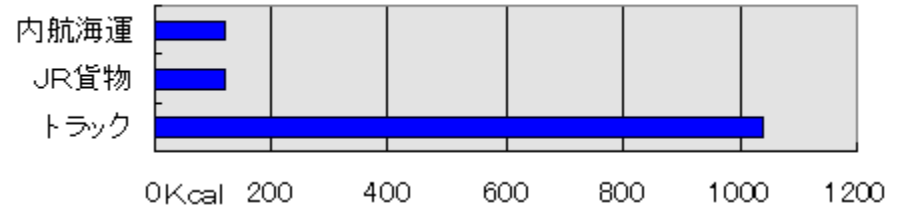
物流ネットワークシミュレータの 開発

海上幹線輸送の可能性

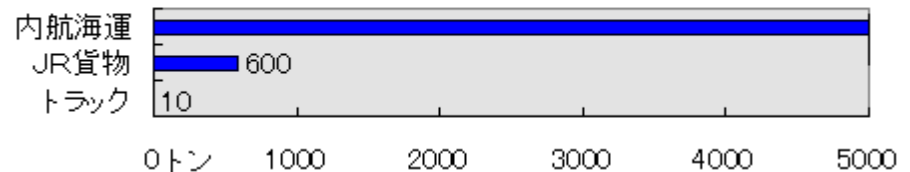
- 島国である日本の地理的特性
- 高いエネルギー効率
- 技術革新による高速輸送船の出現



国内フェリーネットワーク



トンキロ当りのエネルギー消費効率



輸送単位あたりの貨物量

海上幹線輸送へのシフトの条件

- 現状

- 荷主はサービスのよい輸送モードを選択する

- 陸海の競合するモード間の荷主ニーズ

- トラック輸送と同等の海上輸送サービス

輸送所要時間・輸送スケジュール・料金 等

の定量的な分析手法が必要

従来研究の問題点

- 従来物流研究

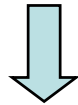
- 連続近似・整数計画法等の数理的手法が主流
- スケジュール、貨物別特性といった物流現象の表現不十分
- 輸送機関仕様に関する考察の欠如

- システム全体のマクロな概略把握に適しているが、実用的なサービスの検討には不十分。

本研究の目的

- 統計データ等の物流情報から海上輸送システム設計、適合船舶仕様を決定する一連の手法の確立をめざす。

物流情報



輸送機関設計をも含んだ
輸送システム設計

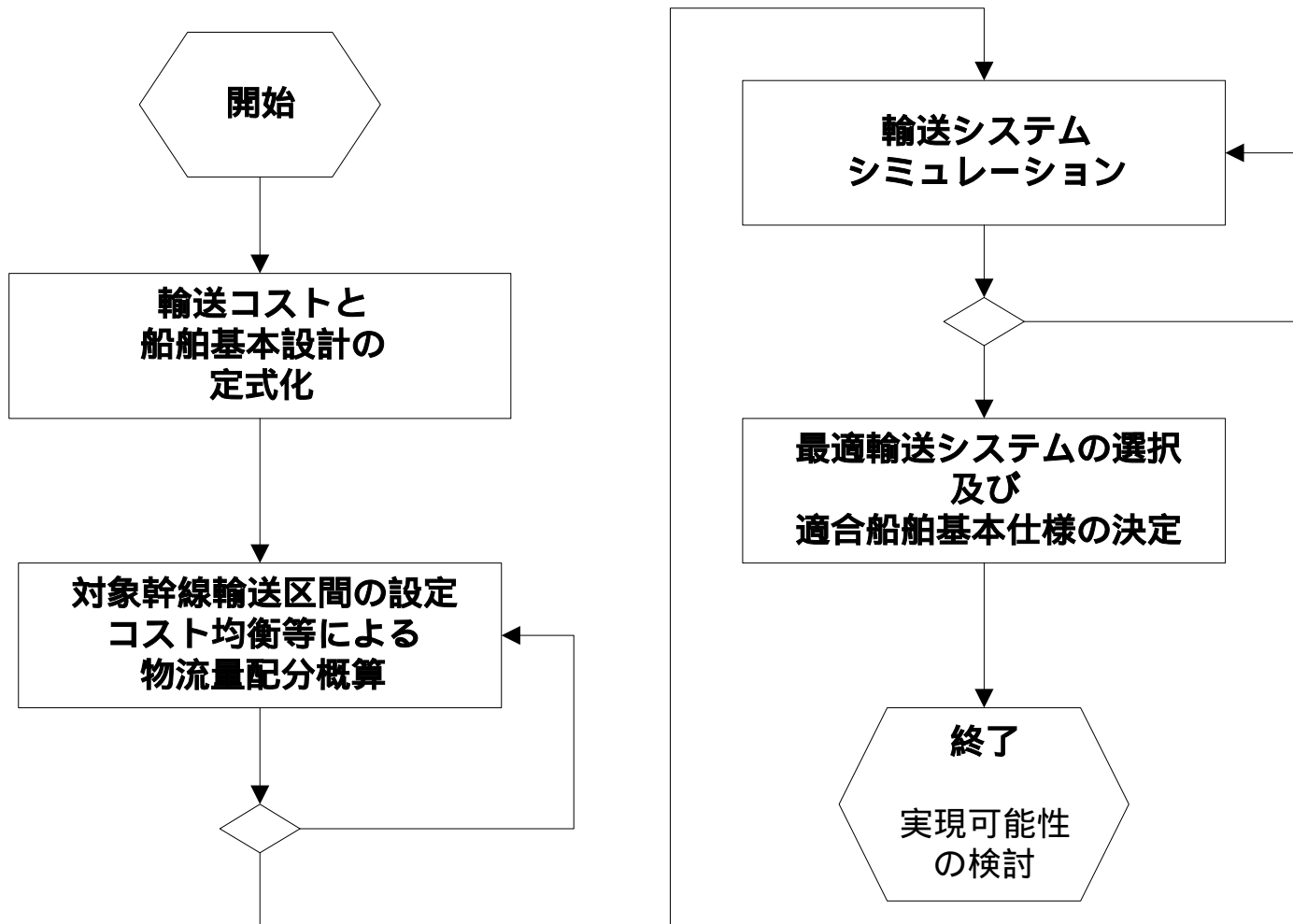
貨物データ
ルートデータ
輸送機関データ,

新航路運航サービス
速度
容量
スケジュール,

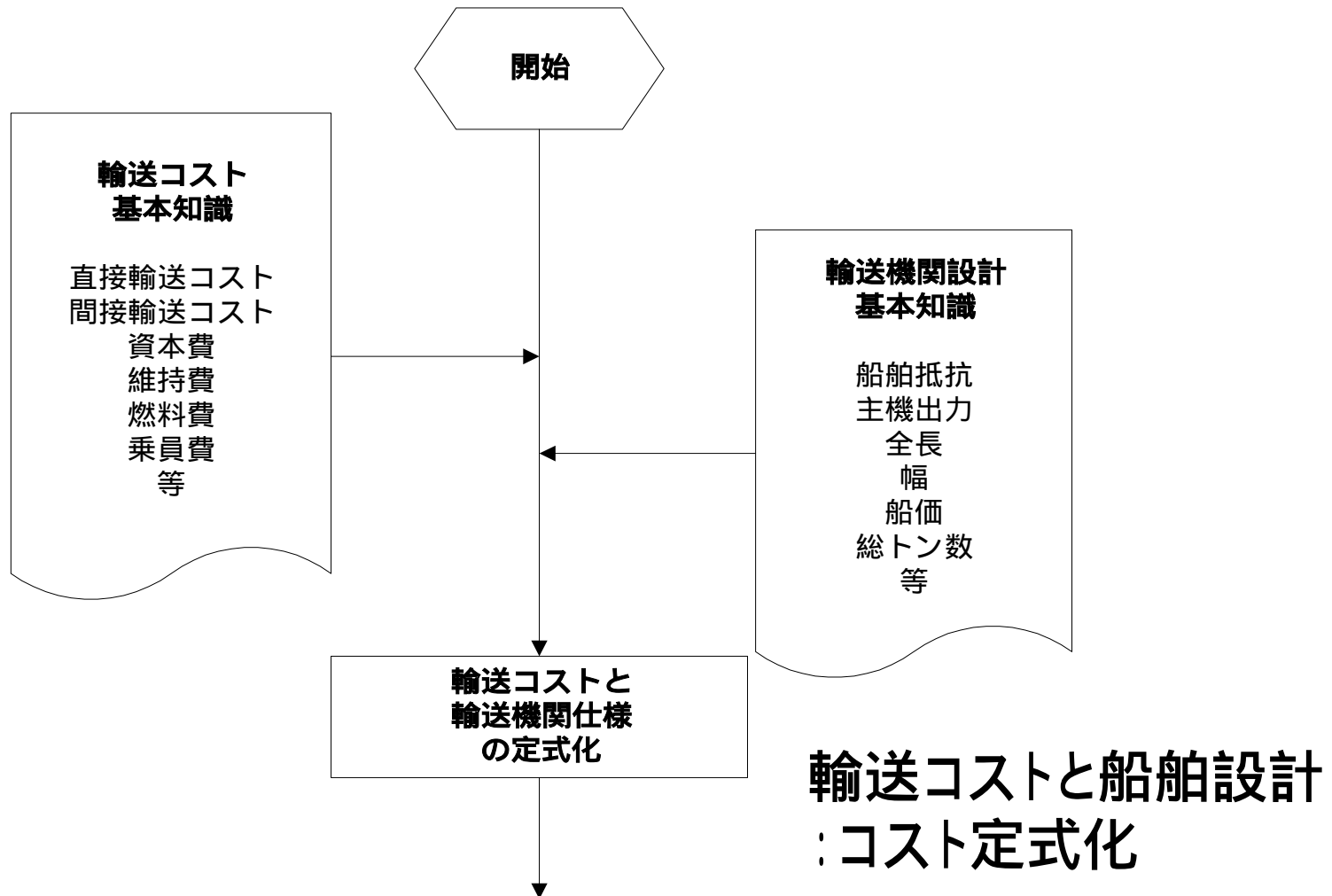
本研究の目的

- 陸海輸送モード間の競合評価
- 輸送機関設計の組み込み
- 物流現象の表現
 - スケジュール、貨物特性、荷主の選択行動
- 首都圏 - 北海道間幹線輸送を対象にシステムを構築し、手法の検証を行う。

本手法の概要



輸送コスト定式化



輸送コスト(DOC、IOC)

DOC (直接コスト)

資本費	+	維持費
乗員費	+	燃料費

+

(IOC)間接コスト

宣伝広告費
営業費等

輸送コスト定式化

- 直接コスト(DOC)、間接コスト(IOC)

$$\text{DOC} = C_{\text{St}} + C_{\text{Me}} + C_{\text{Crew}} + C_{\text{Fu}}$$

$$\text{IOC} = \text{DOC} \cdot R_d \quad R_d: \text{直接・間接コスト比}$$

C_{St} : 資本費/便 C_{Ma} : 維持費/便 C_{Crew} : 乗員費/便 C_{Fu} : 燃料費/便

$$\begin{aligned} C_{\text{St}} &= \frac{(1-r_v) \cdot P}{Y \cdot N_{\text{year}}} + \frac{Px}{N_{\text{year}}} + \frac{Pi}{N_{\text{year}}} \\ &= \frac{P}{N_{\text{year}}} \left(\frac{1-r_v}{Y} + x + i \right) \end{aligned}$$

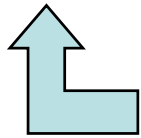
$$C_{\text{Me}} = \frac{K_m}{N_{\text{year}}} = \frac{P \cdot x_m}{N_{\text{year}}}$$

$$C_{\text{Crew}} = \frac{sN_c}{N_{\text{year}}}$$

$$C_{\text{Fu}} = C_f W_f T = C_f W_f \frac{R_p}{V}$$

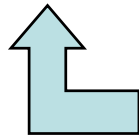
船舶基本仕様の定式化

$$R = (1 + K)R_f + R_r$$



$$R_f = \frac{1}{2} C_f S V^2 \rho_w$$
$$R_r = \frac{1}{2} r_R \rho_w \nabla^{2/3} V^2$$

R_f : 剰余抵抗、 R_r : 摩擦抵抗
 K : 形状係数+



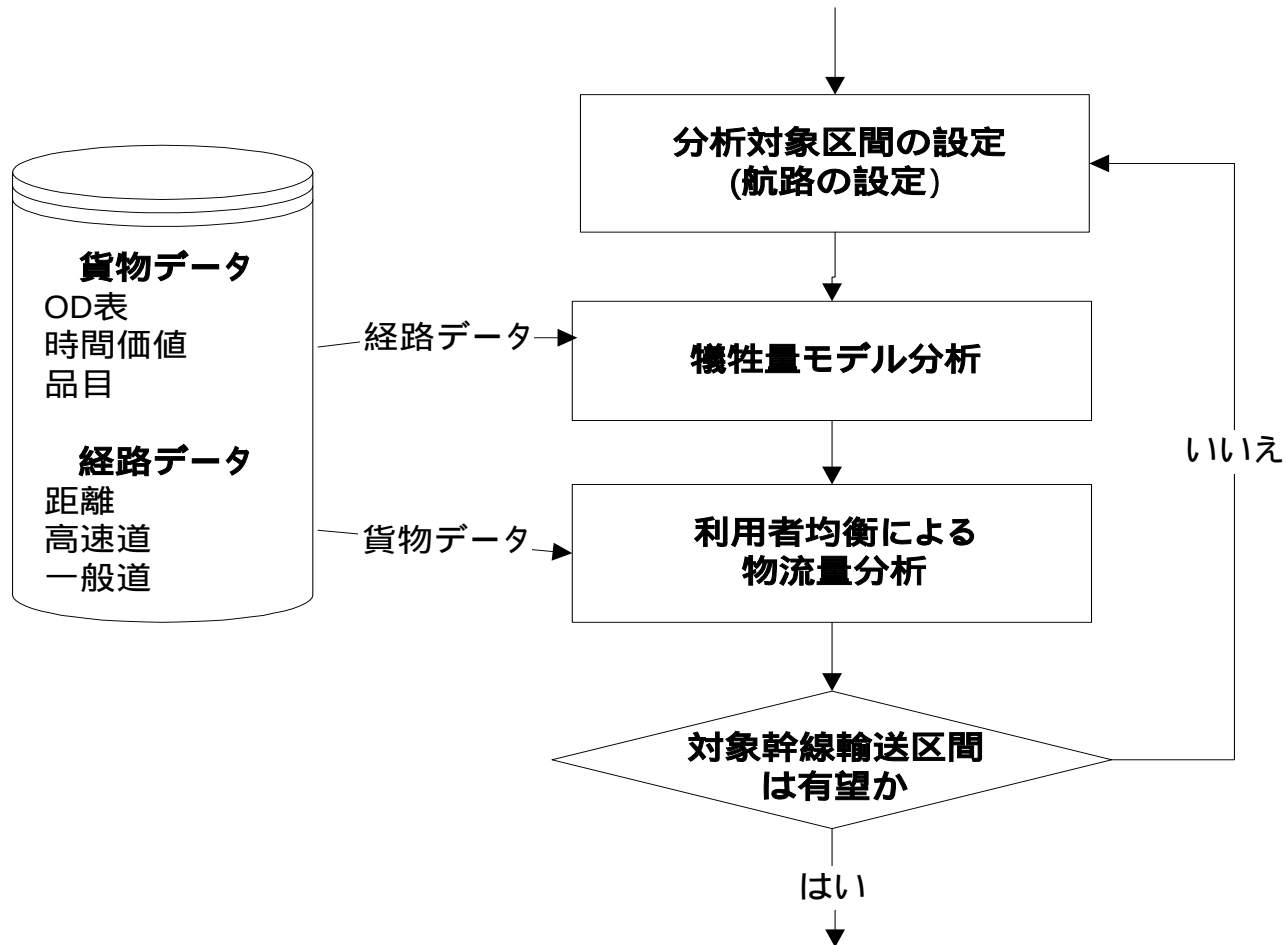
$$C_f = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2}$$

$$P = R V \frac{1}{\eta_p}$$

$$K = 0.095 + 15.1 \frac{C_b}{\left(\frac{L}{B}\right)^2 \sqrt{\frac{B}{d}}}$$

$$HP = 735 * P$$

幹線輸送区間の設定及び概算方法



交通機関比較・犠牲量モデル

- 交通機関を利用したときの運賃と、利用者がその間働けないことによってこむる金額の合計を犠牲量で表すこと

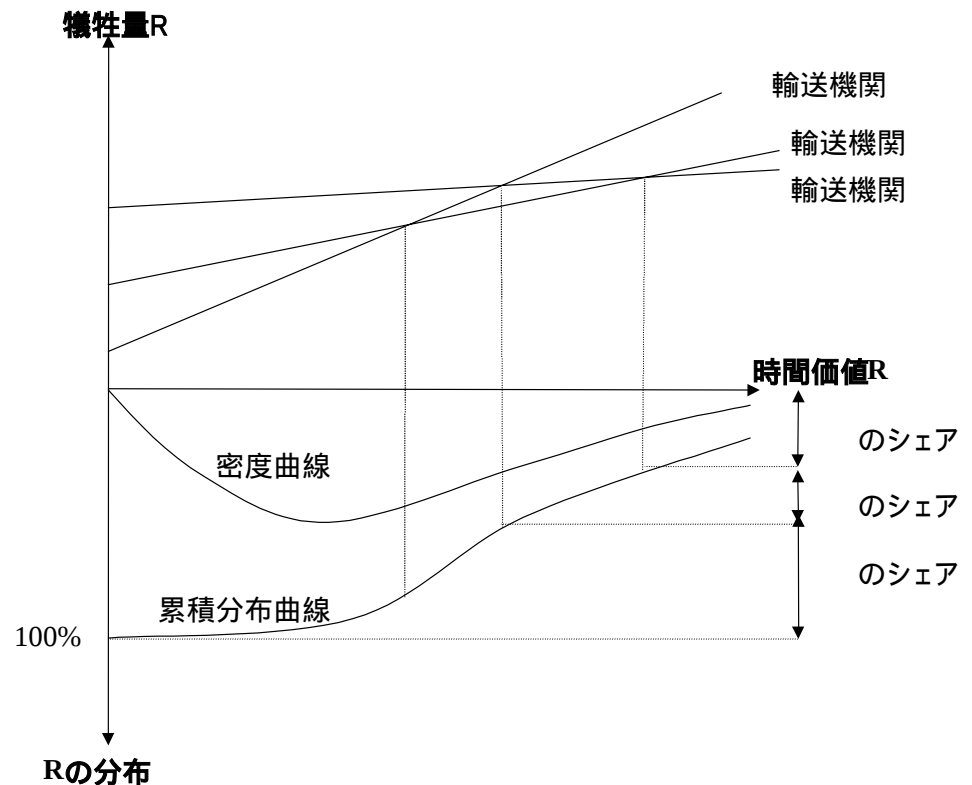
$$S = C + T \cdot W$$

S:犠牲量(円)

C:運賃(円)

T:所要時間(h)

W:時間価値(円 / h)



犠牲量モデルの貨物への応用

荷主が荷物を輸送する間に不効用を金額で表したもの。

- 輸送機関を待っている間貨物を利用できない事によるコスト
- +
- 輸送中貨物を利用できないことによるコスト
- +
- 輸送にかかる料金コスト

not money

money

荷主側の総物流コスト関数

定式化

待ち時間コスト + 料金 + 輸送時間コスト

$$t_a(x) = \begin{cases} \frac{(x - B_a)}{24} \cdot w + C_a + T_a w & (x \geq B) \\ \frac{24}{D_a} B_a & \\ C_a + T_a w & (x \leq B) \end{cases}$$

w : Time Value(¥/h)

B : Capacity(tracks)

C : Fare(¥)

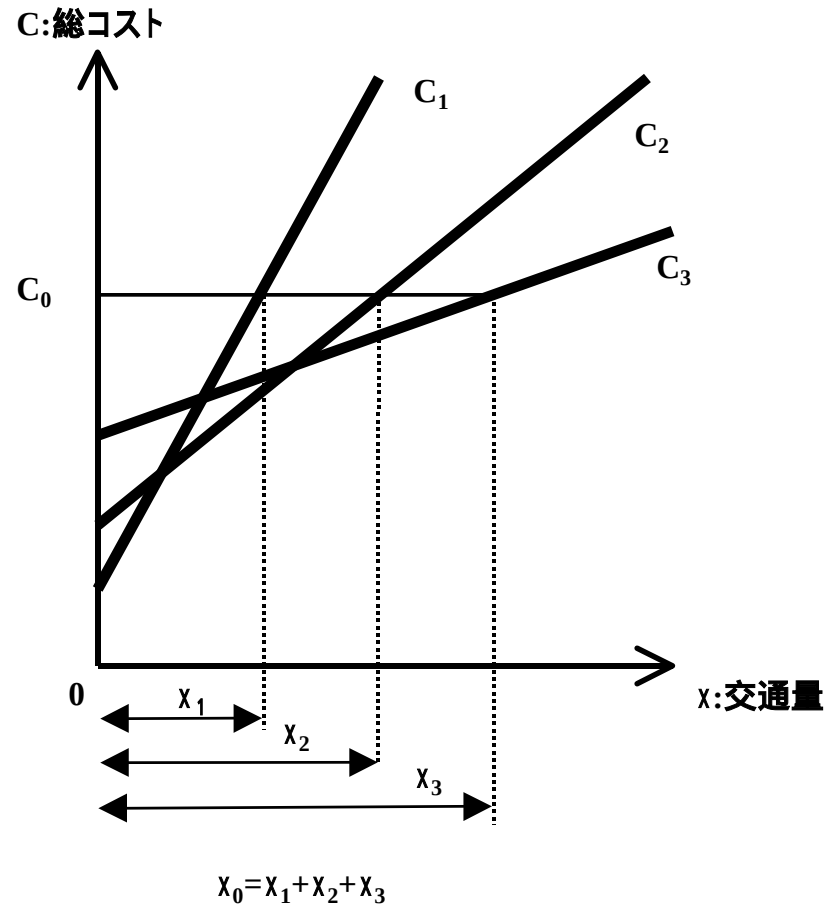
D : Frequency(hr)

T : Transportation Time (h)

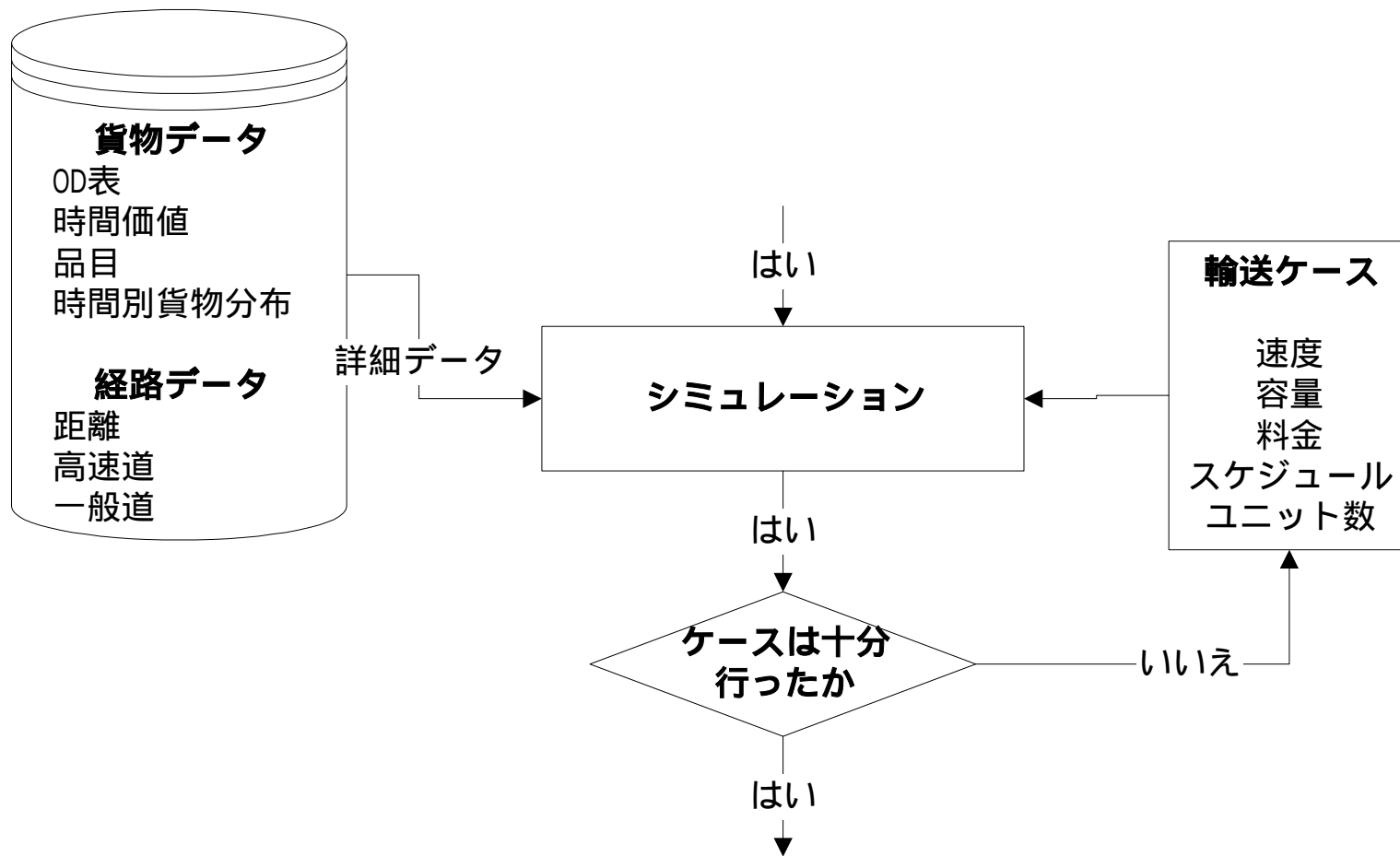
コスト均衡による物流量配分

利用者の選んだすべての経路
の不効用(コスト)はみな等しく、
利用されない経路の所要不効
用はこれよりも大きい。
(Wardropの利用者均衡原則)

犠牲量モデルの輸送時間考慮に
加え待ち時間を考慮する。

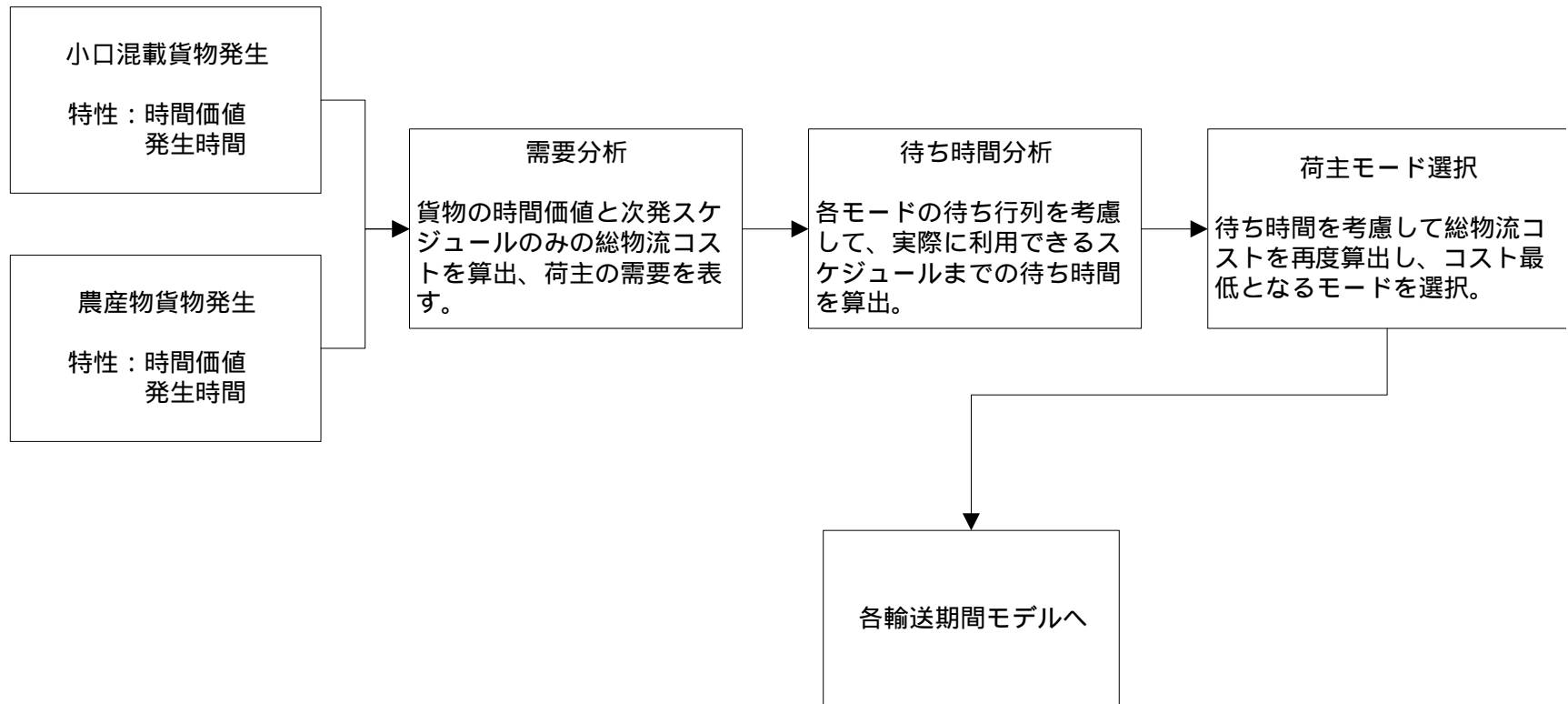


シミュレーション



ルート選択モデル

• 荷主輸送モード選択



ルート選択モデル例

Cargo

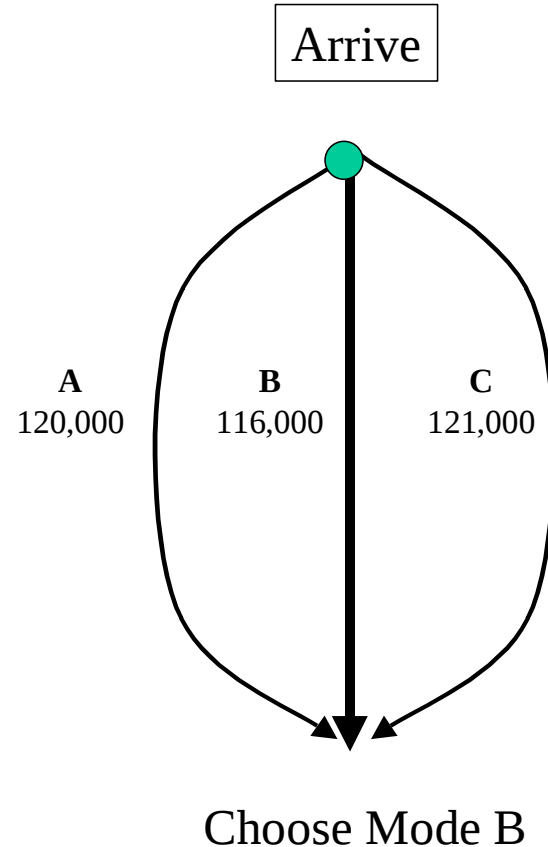
Cargo	Vegetable
Arrival Time	17:00
R: Time Value	2000 [yen/(t·hr)]

Mode

Mode	T_0 [hr]	C_0 [yen]	Next Schedule	T_w : Wait Time
A	10	10,000	Anytime	0:00
B	11	90,000	19:00	2:00
C	13	80,000	22:00	5:00

Calculate

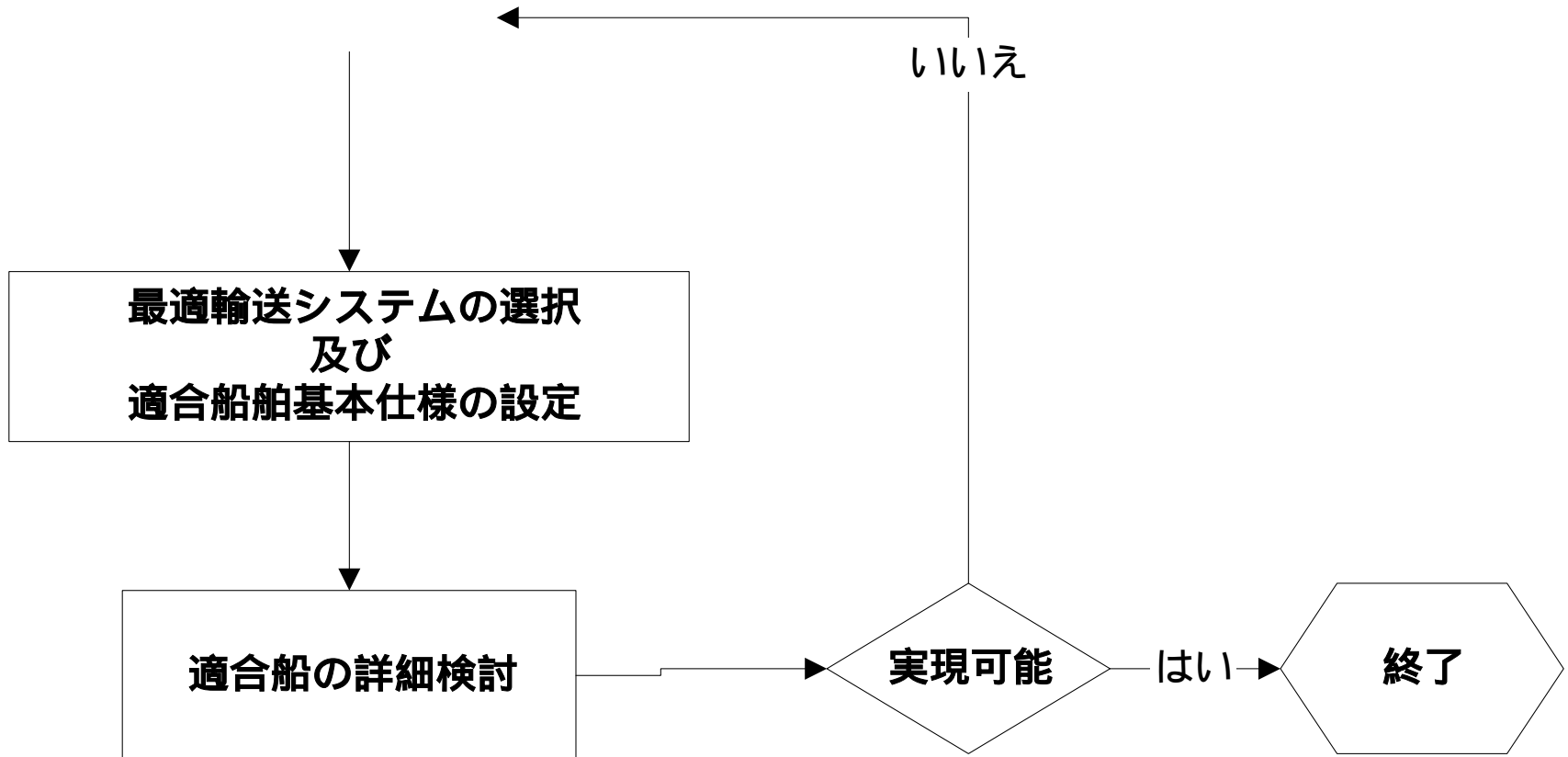
Mode	RT	C_0	C
A	$2000 \cdot (10+0)$	10,000	120,000
B	$2000 \cdot (11+2)$	90,000	116,000
C	$2000 \cdot (13+5)$	85,000	121,000



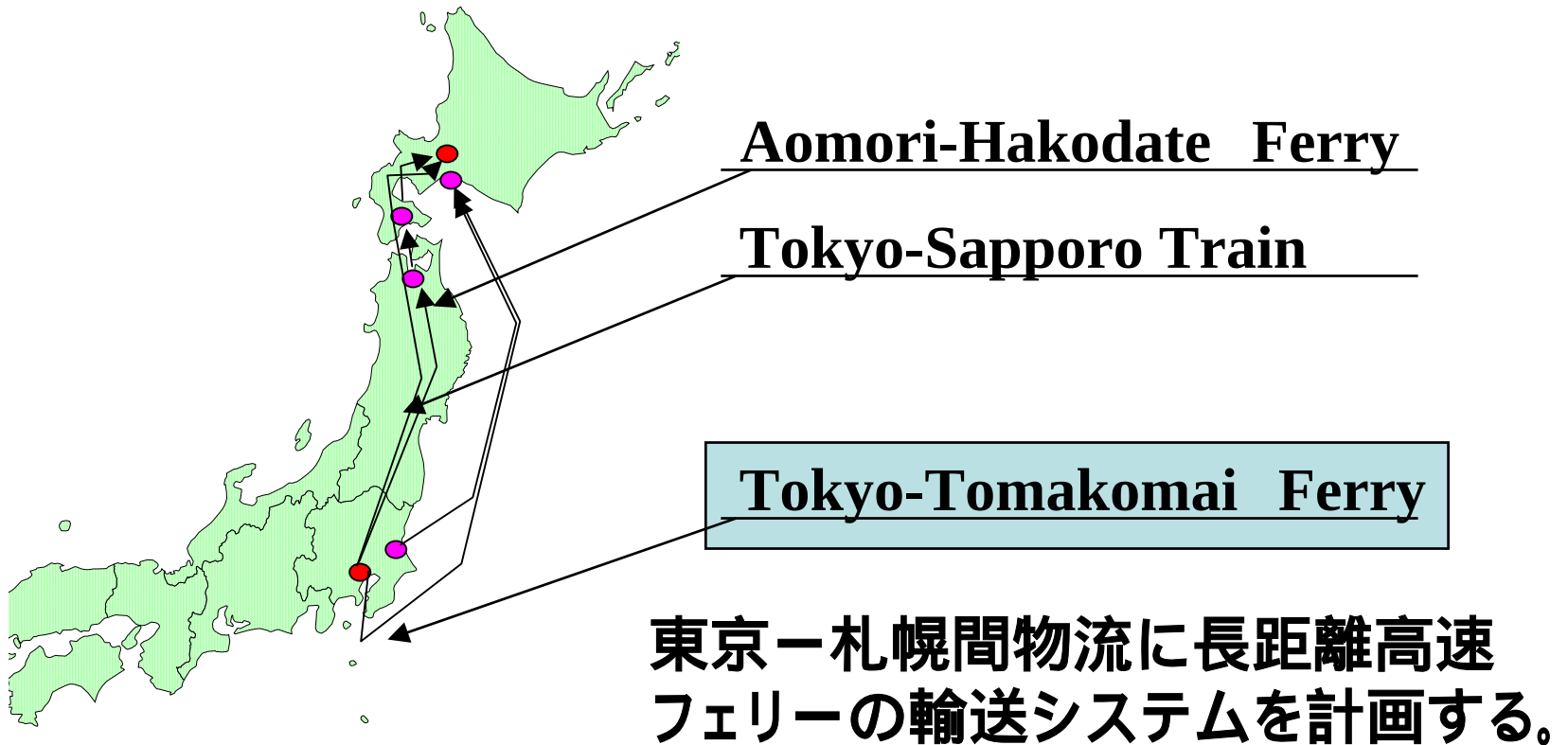
シミュレーションで表現できるもの

		数理計算	シミュレーション
均衡状態			
選択行動		○	○
最適化		○	
輸送機関	速度	○	○
	容量	○	○
	スケジュール	×	○
	利用率		○
貨物	品目数	×	○
	発生時間分布	×	○
	需要量	○	○
必要情報量		中	多
分析労力		小	多
モデル大型化		中	難

シミュレーション結果分析



4 . 例題による検証



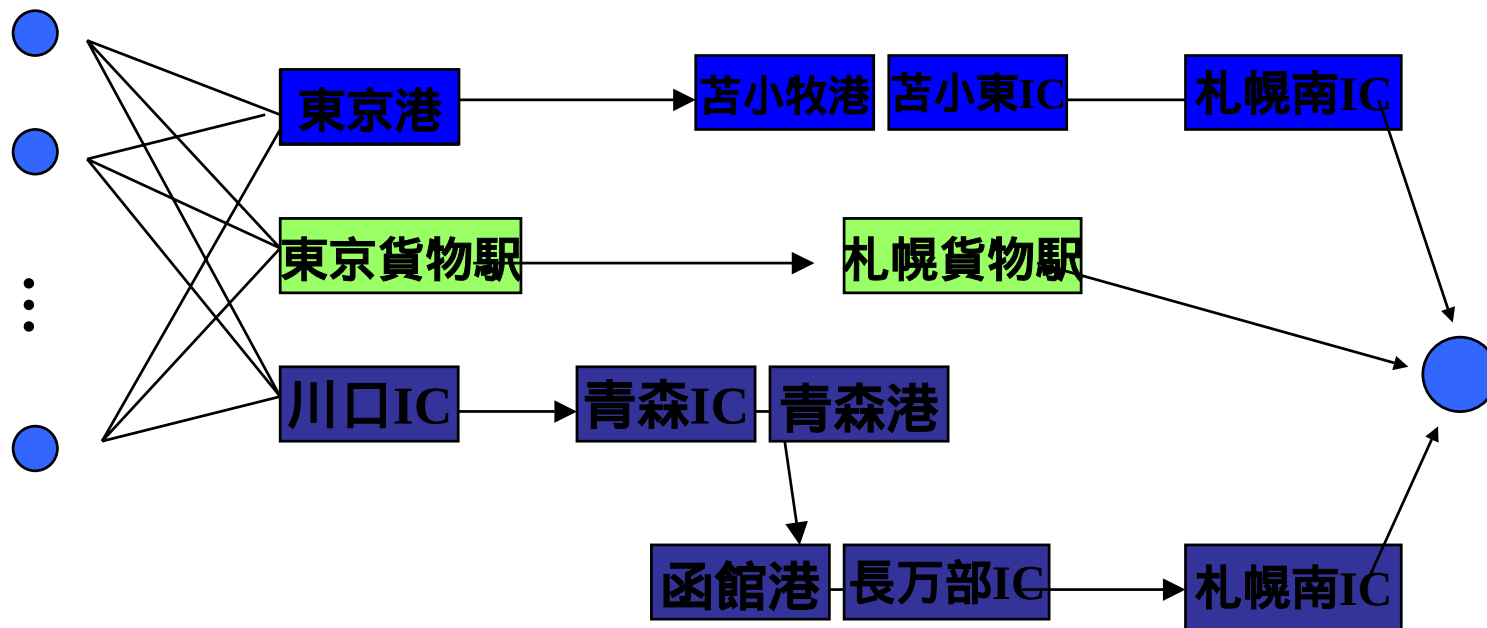
問題の設定

- 東京-札幌の各荷物配送センター間を想定
- ルートは、トラック・鉄道・長距離フェリーの代表3本
- 競合(トラック・鉄道)は、現状のデータを使用

各交通機関ルート設定

東京
集配センター

札幌
集配センター



設定ケース

以下のような28ケースを想定

- 速度

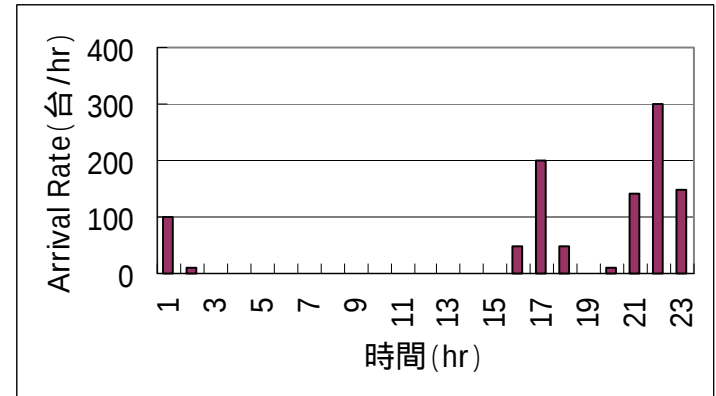
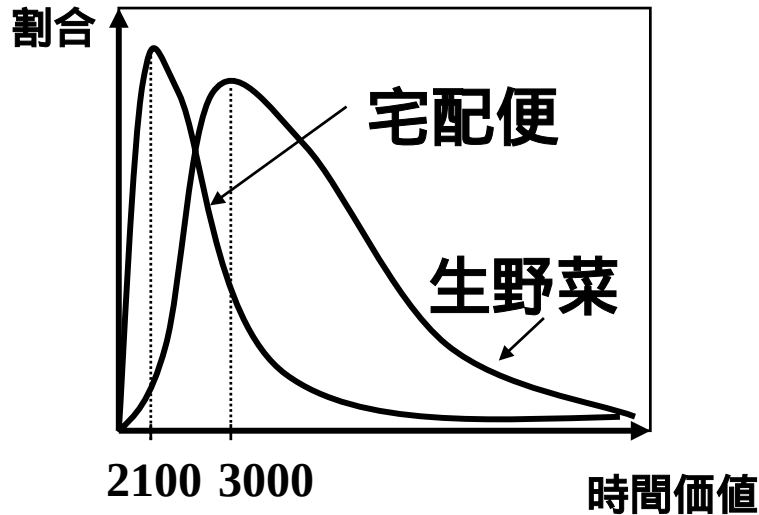
20 , 22.5 , 25 , 27.5 , 30 , 32.5 , 35(kt)

- スケジュール(一日2便想定)

(0:00、 6:00)、 (0:00、 12:00)

(0:00、 18、 00)、 (0:00、 0:00)発

物流データ(品目別)



宅配便の発生量

時間価値分布(yen/(hour・ton))

$$\text{TimeValue} = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x)-\mu)^2 / (2\sigma^2)}$$

宅配便・生野菜を
対数正規分布で発生

時間別発生量(= β)(times/hr)

$$\text{ArrivalRate}(\beta) = \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta}$$

今回は推定値を使用

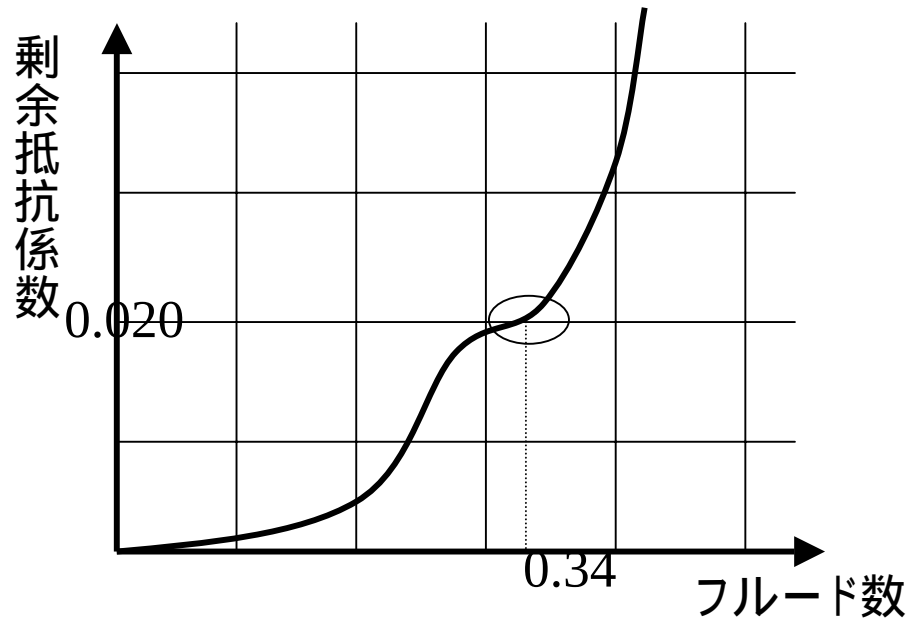
船舶初期設定

長距離フェリー"パシフィックエクスプレス"				
全長	170.0[m]	車両搭載数	トラック12	100台
垂線間長	158.0[m]		乗用車	90台
幅	25.0[m]	船客定員		660人
深さ(D甲板)	10.0[m]	主機		46200馬力
計画満載喫水	6.5[m]	載貨重量		5100t
総トン数	約11400t	航海速力		26.2knt

船型は標準船型
Cb=0.6とした



速度変化時の船舶データ



Fr=0.34となるように
船舶サイズを決定



L,B,排水量,乗員数
必要出力等

山県標準船型の図表 (Cb=0.6)

各交通機関別コスト例

計算の設定

人件費・燃料費

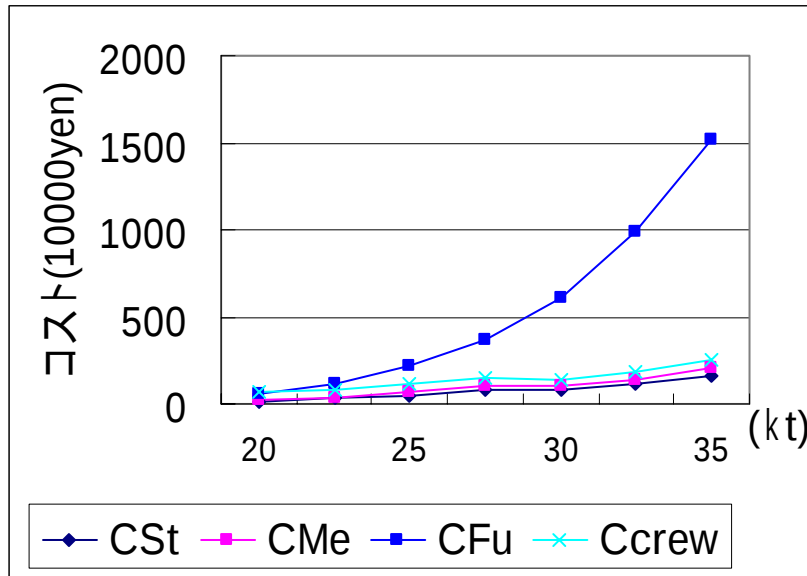
トラックドライバー時給	2000	2000
トラック燃費(km/l)	高速	3.2
	一般	2.9
軽油料金(l)	60	60

トラックトン数(ton)	トン数	10	19	
トラック燃費(km/l)	高速	2.6	2.3	
	一般	2.4	2.0	
トラック燃費(km・ton/l)	高速	26.4	42.8	
	一般	23.6	38.2	
トラック燃費(kcal/ton・kg)	高速	348	215	9200kcl
	一般	390	241	
7.7トントラック(8M)	260ps	300	500	

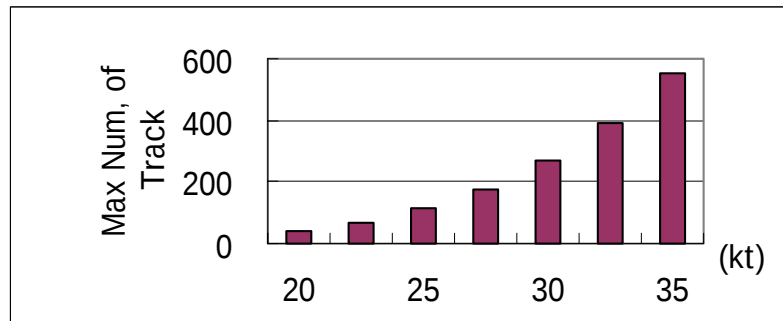
各交通機関物流コスト

トラック(青森-函館)		川口IC-青森IC	青森IC-青森港	青森港-函館港	函館-長万部IC	長万部IC
フェリー運賃		0	0	34920	0	
トラック輸送費(8-9m)	高速代	22850	0	0	0	
	ガソリン代	12750	248	0	3017	
	人件費	19000	667	7333	7333	
積換えコスト						
コスト計		54600	915	42253	10350	
距離		680	12	110	146	
分換算		570	20	220	220	
時間		9:30	0:20	3:40	3:40	

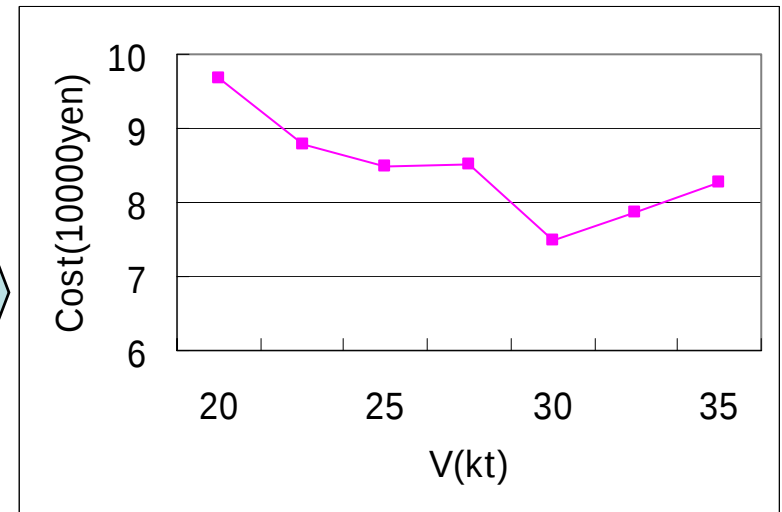
長距離フェリー輸送コスト計算結果 (1便/日)



DOC (直接コスト)



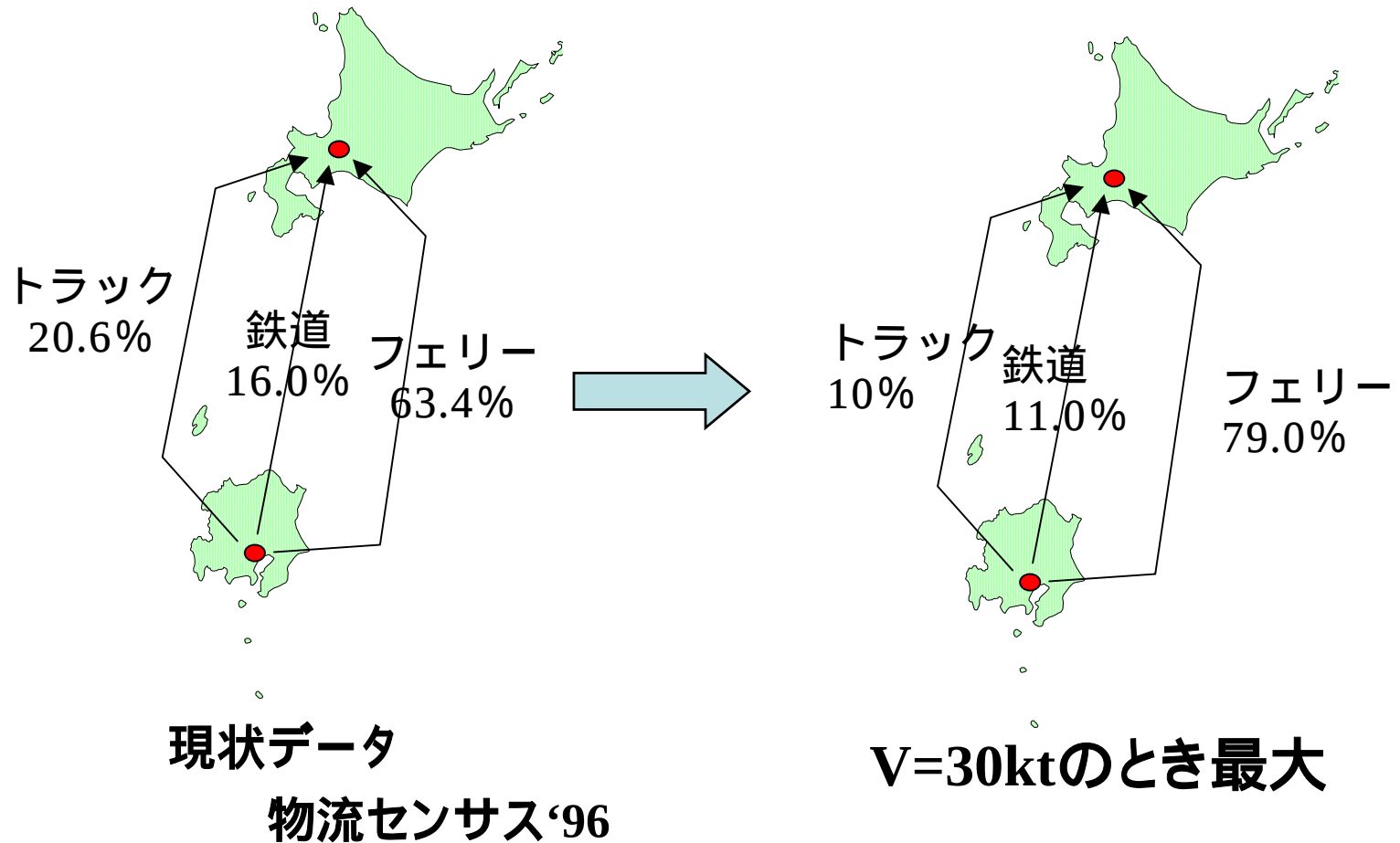
Capacity(トラック台数)



トラック1台あたりの輸送コスト

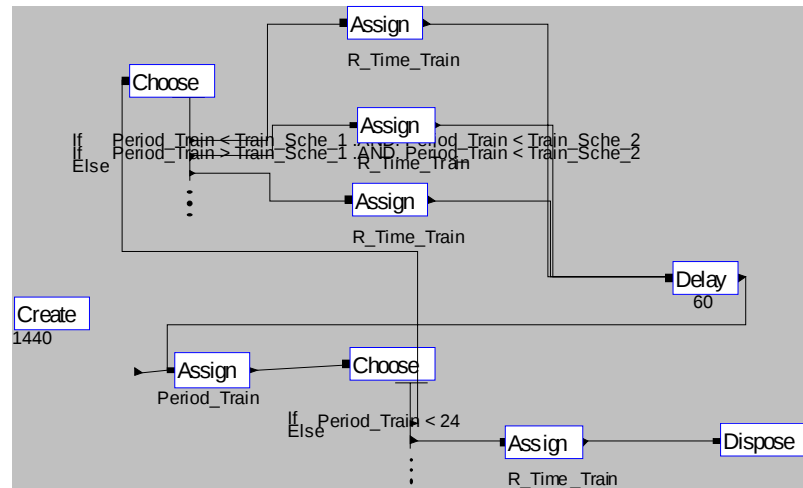
平均消席率50%・間接コスト50%

コスト均衡による物流量配分

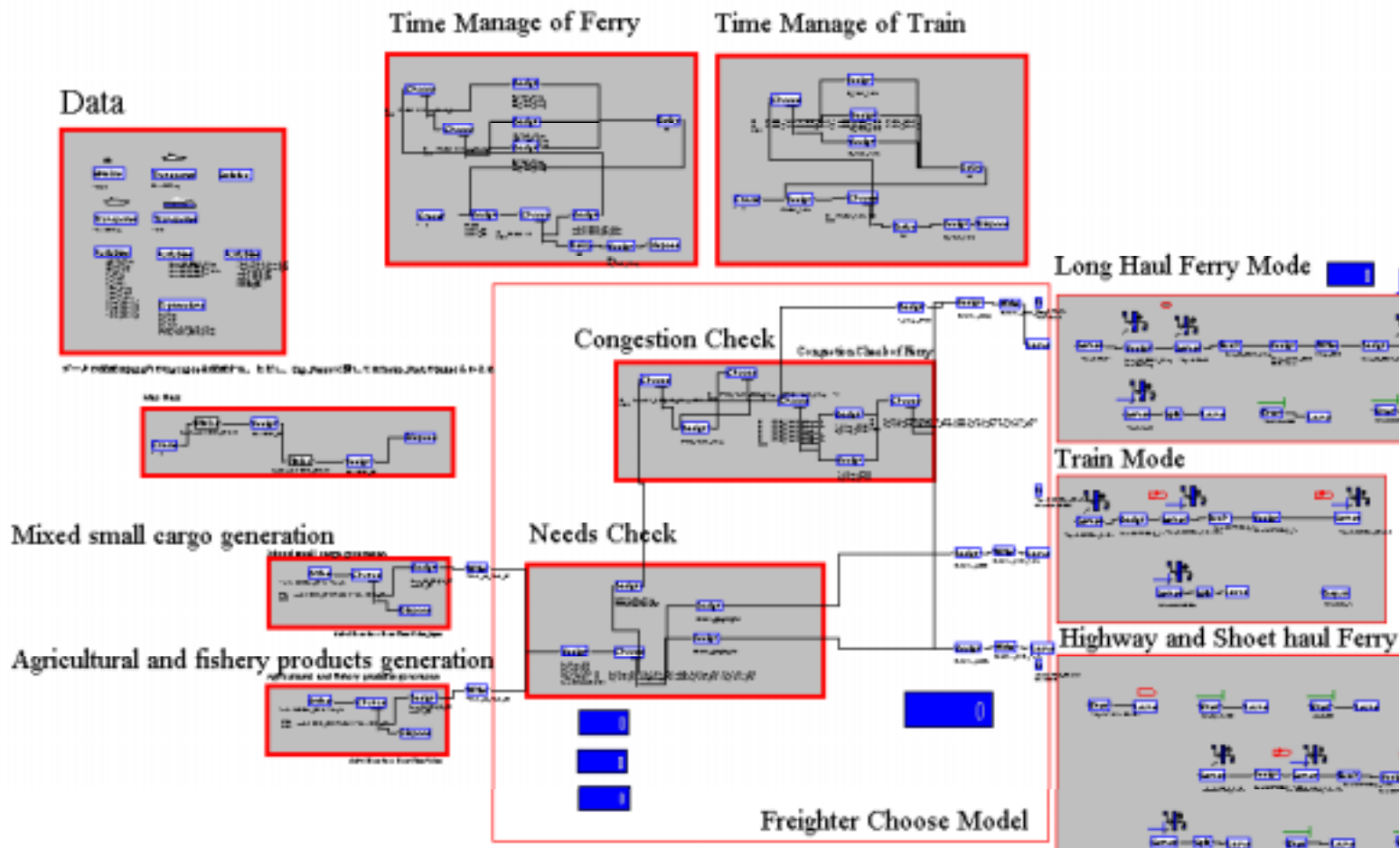


ARENAによる シミュレーションシステム構築

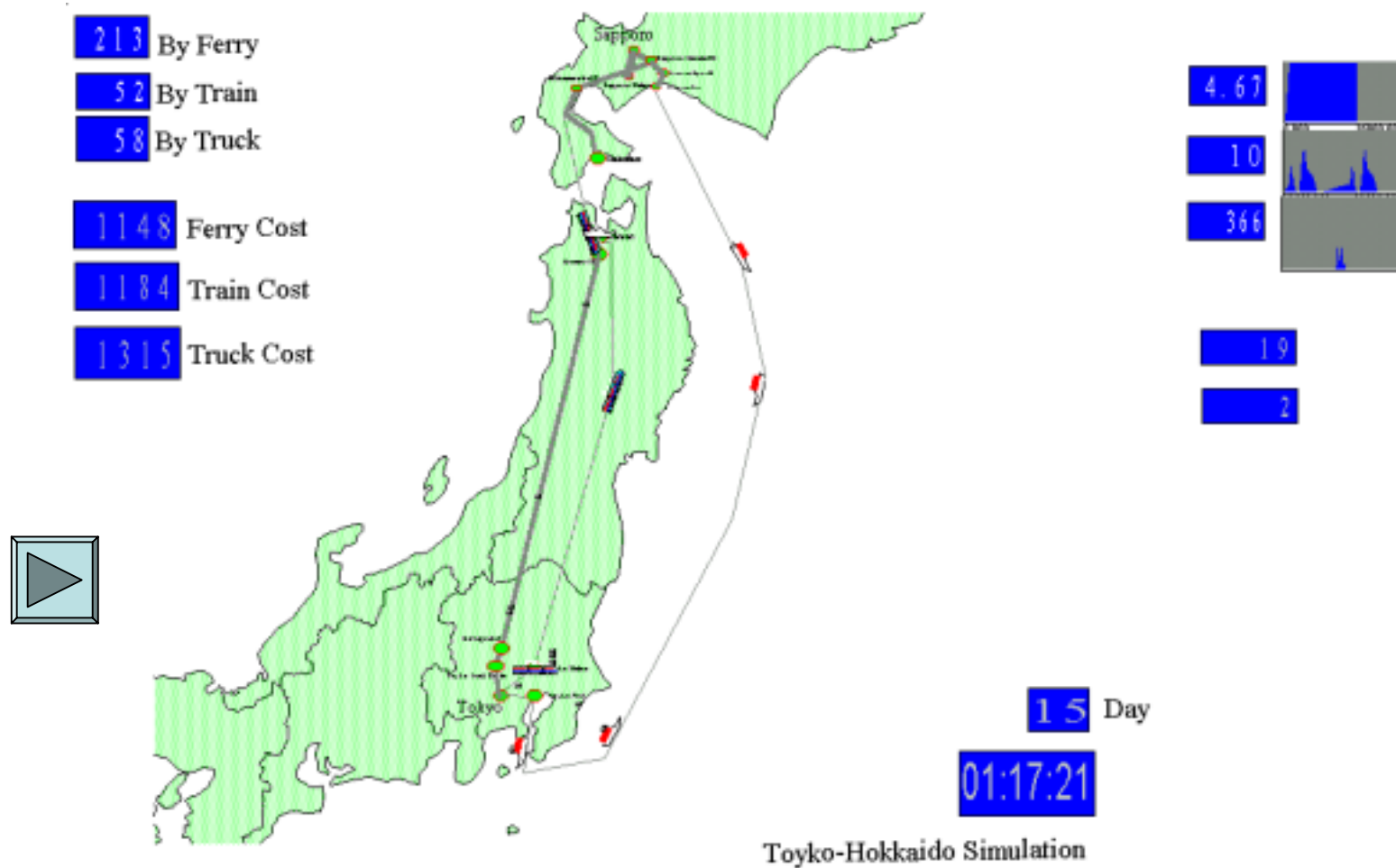
- 統合型シミュレーション
- シミュレーション言語: SIMAN
- アニメーション化機能: Cinema
- ASTによるビジュアルモデリング



シミュレーションプログラム(一部)



シミュレーション実行画面



シミュレーション結果(1)

速度変化時のシェア比較

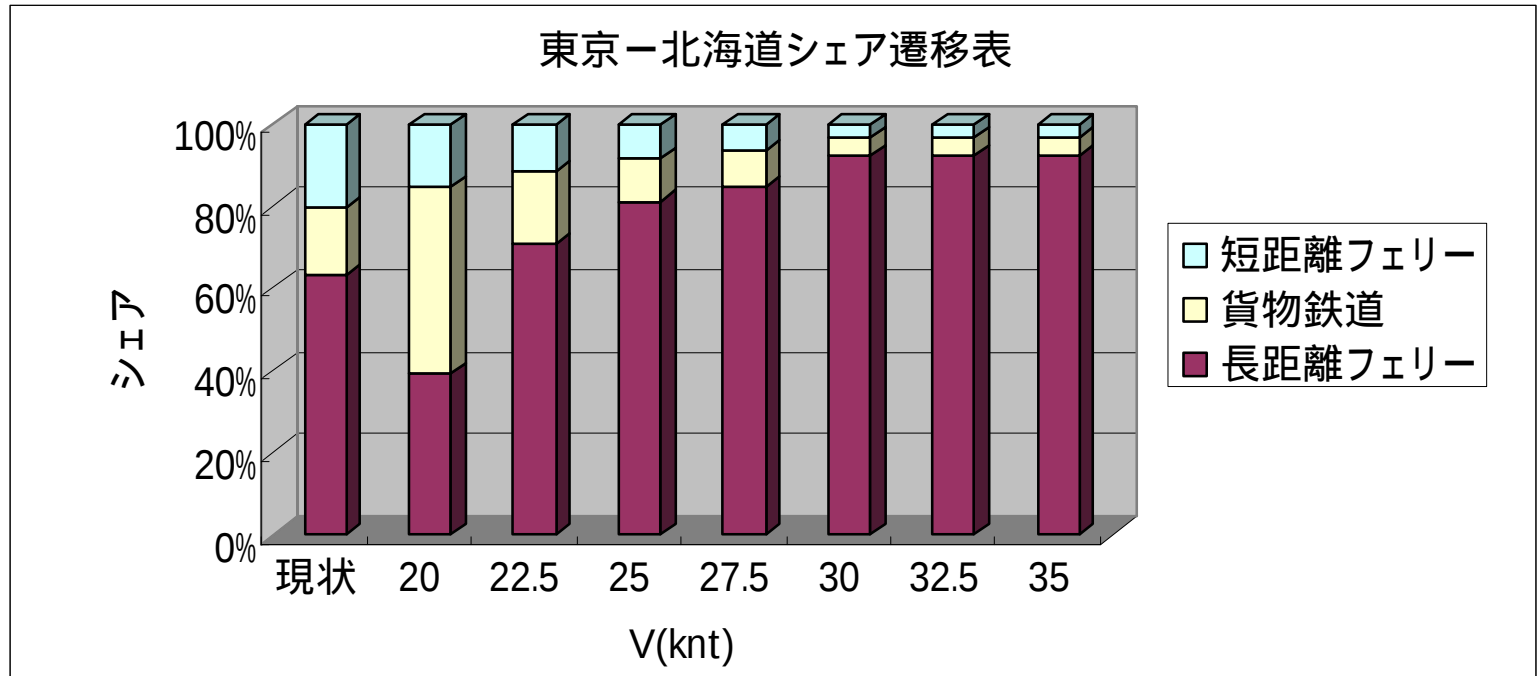
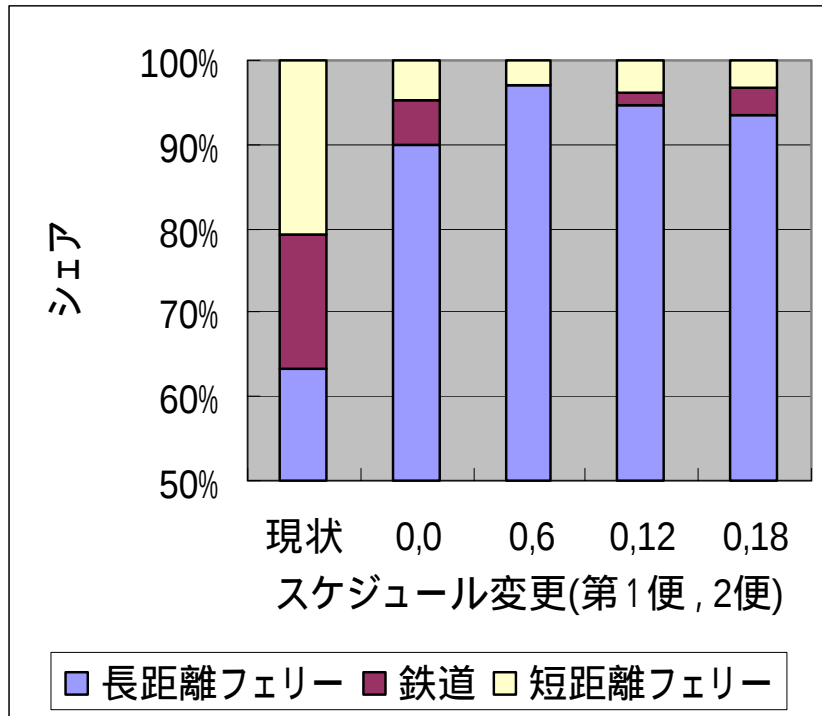


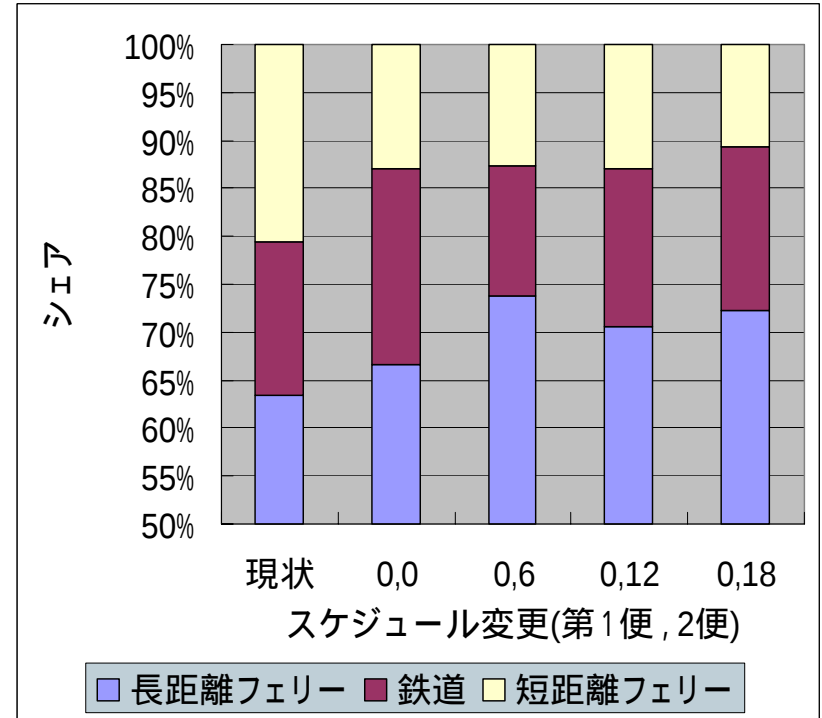
図10 速度変化時のシェア比較
V=30kntで最大となる

シミュレーション結果(2)

スケジュール変化時のシェア比較



V=30kntのスケジュール変化



V=22.5kntのスケジュール変化

0時、6時の2便が最適となる。

東京ー北海道フェリー結論

- 船速は30kt が最適
- スケジュールは一日2便であれば
0時と6時発が最適

適合船基本仕様

全長	215.0[m]	車両搭載数	トラック12M	268台
垂線間長	200.0[m]		乗用車	150台
幅	34.0[m]	主機		100000HP
深さ(D甲板)	10.0[m]	航海速力		30.0kt
計画満載喫水	6.5[m]			
総トン数	約27660t			

DCF (Discounted Cash Flow) 法 による利益分析

- 割引率 13% において
- $NPV = 176.2(\text{億円}) > 0$ と投資適合である。

営業年次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
シミュレーション値(台/日)	761	761	761	761	761	761	761	761	761	761	761	761	761	761	761
目標割合(利用/需要)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
運賃(千円)	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
運賃収入	11,866	14,239	16,612	16,612	21,359	23,732	23,732	23,732	23,732	23,732	23,732	23,732	23,732	23,732	23,732
キャッシュイン計	14,832	17,799	20,765	20,765	26,698	29,665	29,665	29,665	29,665	29,665	29,665	29,665	29,665	29,665	29,665
資本費															
船舶費	15,559	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
保険・税	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311
維持費	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556
船舶修繕費	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556	1,556
船舶保有費計	17,426	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867
燃料費															
燃料費	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087	12,087
油脂費	604	604	604	604	604	604	604	604	604	604	604	604	604	604	604
船員費															
船員費	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
入港・港湾	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
運航経費計	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138	13,138
DOC計	30,564	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005	15,005
IOC	7,641	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751	3,751
OC計	38,205	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756	18,756
キャッシュフロー変化	-23,373	-958	2,009	2,009	7,942	10,908	10,908	10,908	10,908	10,908	10,908	10,908	10,908	10,908	10,908
キャッシュフロー計	-23,373	-24,330	-22,321	-20,312	-12,371	-1,462	9,446	20,354	31,263	42,171	53,079	63,987	74,896	85,804	96,712

結論

- 物流情報から、陸海輸送モード間の競合を定性的に評価し、海上運航サービスと、船舶仕様の決定一連の手法を示した。
- 輸送コストと、船舶仕様の関係を定式化し、システム設計に組み込む事ができた。
- 荷主のモード選択行動のモデル化を行った。
- 本手法を用いて首都圏-北海道を対象に試設計を行った結果、現実的な解を得る事ができた。

今後の課題

- 船舶の精密な概念設計
- コスト計算の詳細化
- 税金、港湾制限等の検討
- シミュレーションモデルのより現実モデル化

第2部 適合船舶の試設計

- 東京ー大阪 トラック700万台/年
- 370マイル、35ノットで一日1往復
- 勝原の試算

運賃(円)	輸送量 台 / 日	輸送量 千台 / 年	フェリー分担率 (%)
60,000	6,678	2,437	38
70,000	3,844	1,403	22
80,000	3,418	1,248	19
90,000	2,445	892	14
100,000	1,596	583	9

東京ー大阪 高速フェリー仕様

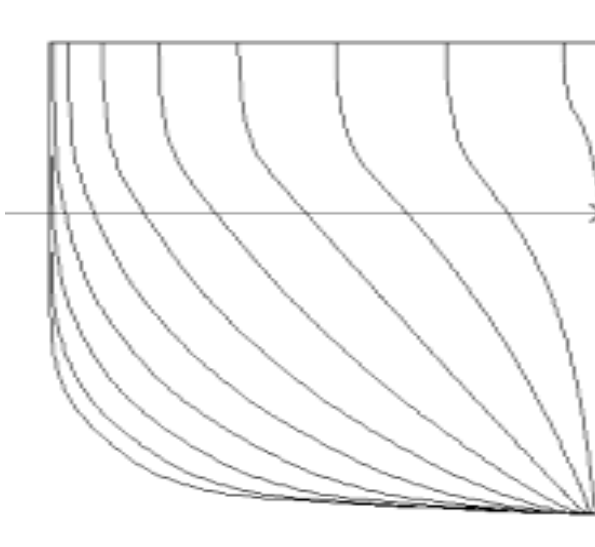
- 35ノット、トラック120台、有償荷重3400トン
- 設計例
 - 現有高速フェリーの高速化
 - すずらん、さんふらわーとまこまい、ほっかいどう丸
 - カタマラン船型の開発
 - SSTH 70m級

表1 すずらん、すいせんの要目

石川島播磨重工建造	
全長	199.45m
垂線間長	187.00m
型幅	25.00m
満載喫水	7.23m
Lbp/B	7.48
総トン数	17345トン
載貨重量	5801トン
Car積載数	12mトレーラー130台
出力	連続最大64800ps
	常用58360ps
速力	満載航海29.4Kt
	試運転最大31.4Kt
燃料消費量	192.9t/day
燃料油槽	705
乗組員	50人
旅客	507人

$C_b=0.52$
 $C_p=0.607$
 $C_m=0.841$

Front part of hull



Rear part of hull

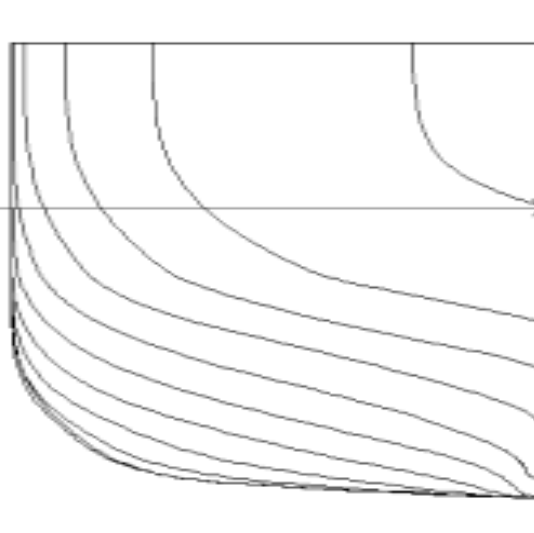


図1 在来船型 線図例

主要目の選定

- 排水量 16000-17000トン
- 喫水 7m
- $C_p = 0.607$ $C_b : 0.52-0.56$
- CAD:Fastship, CFD:TUMMAC-4 dfmで抵抗計算

表2 在来船型の要目変化

Monohull							
	Cb	Cm	Cp	L/B	L	B	D
No.1	0.56	0.906	0.618	8	183.978	22.997	7.000
No.2				9	195.115	21.679	7.000
No.3				10	205.691	20.569	7.000
No.4	0.52	0.841	0.618	8	190.923	23.865	7.000
No.5				9	202.504	22.500	7.000
No.6				10	213.458	21.356	7.000

図2 船長と馬力の関係

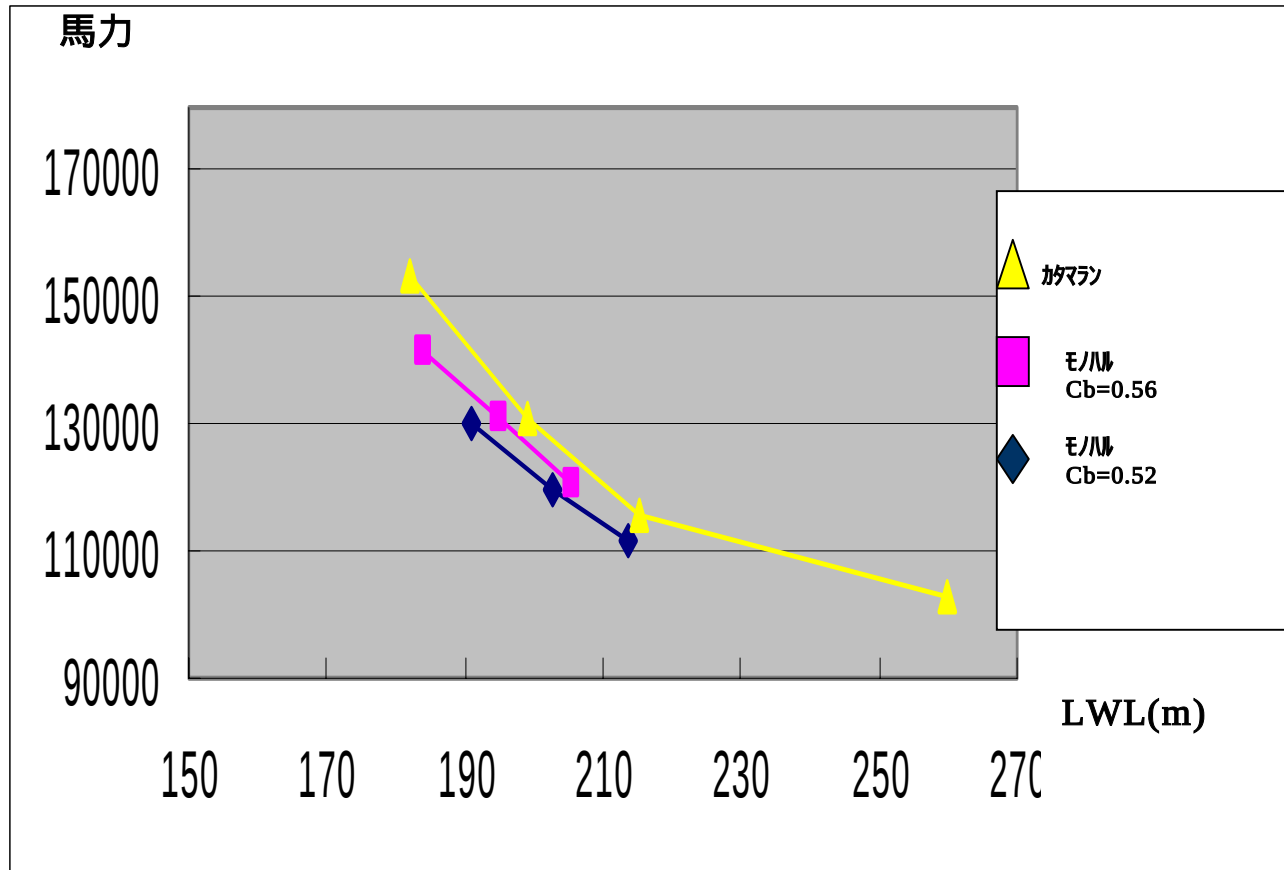


図2 船長と馬力の関係

表3 在来船型の推進馬力

Monohull								
	Cb	Cm	Cp	L/B	L	B	D	所要馬力
No.1	0.56	0.906	0.618	8	183.978	22.997	7	141369
No.2				9	195.115	21.679	7	131260
No.3				10	205.691	20.569	7	120152
No.4	0.52	0.841	0.618	8	190.923	23.865	7	129856
No.5				9	202.504	22.5	7	119750
No.6				10	213.458	21.356	7	111483

表4 カタマランの推進馬力

Cat								
	Cb	Cm	Cp	L/B	L	B	D	所要馬力
No.7	0.5375	0.785	0.684	14	182.194	13.014	6.507	153428
No.8				16	199.157	12.447	6.224	130719
No.9				18	215.426	11.968	5.984	115909
No10				26.864	260	10.895	5.447	103133

表5 在来船型の要目

長さ(全長)	235.00m
長さ(垂線長)	225.00m
幅(型)	24.00m
満載喫水	6.6m
満載排水量	17000トン
DW	4300トン
航海速力	35Kt

表6 カタマランの要目

	IHI A	IHI B
Loa	199.90m	199.90m
L b p	196.00m	196.00m
B mid	29.00m	29.00m
d mid	4.23m	4.10m
D/W	3,500トン	3,000トン
Pay Load	3,000トン	2,400トン
Vs(Kt)	35.0Kt	40.0Kt

図3 バルブなし船型

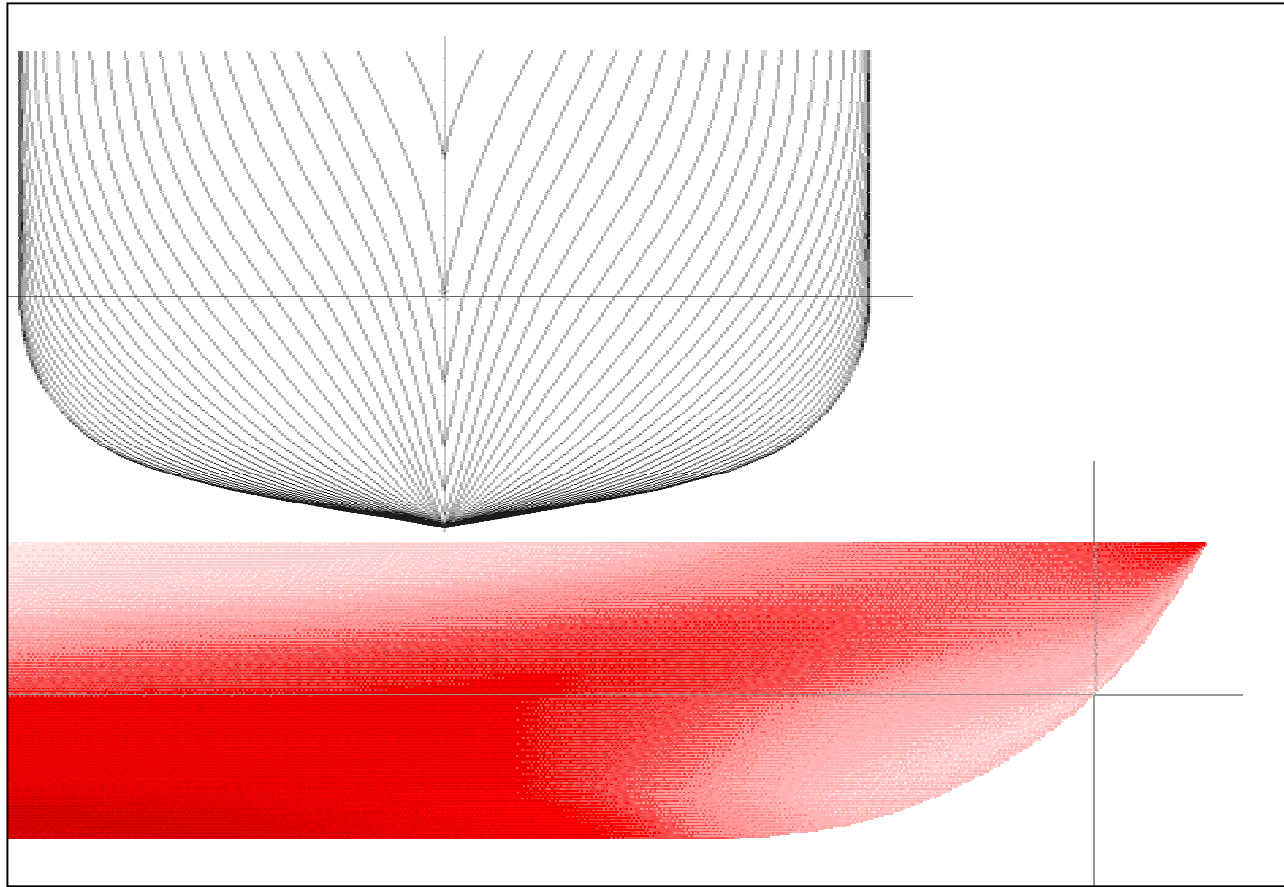


図4 バルブ付き船型

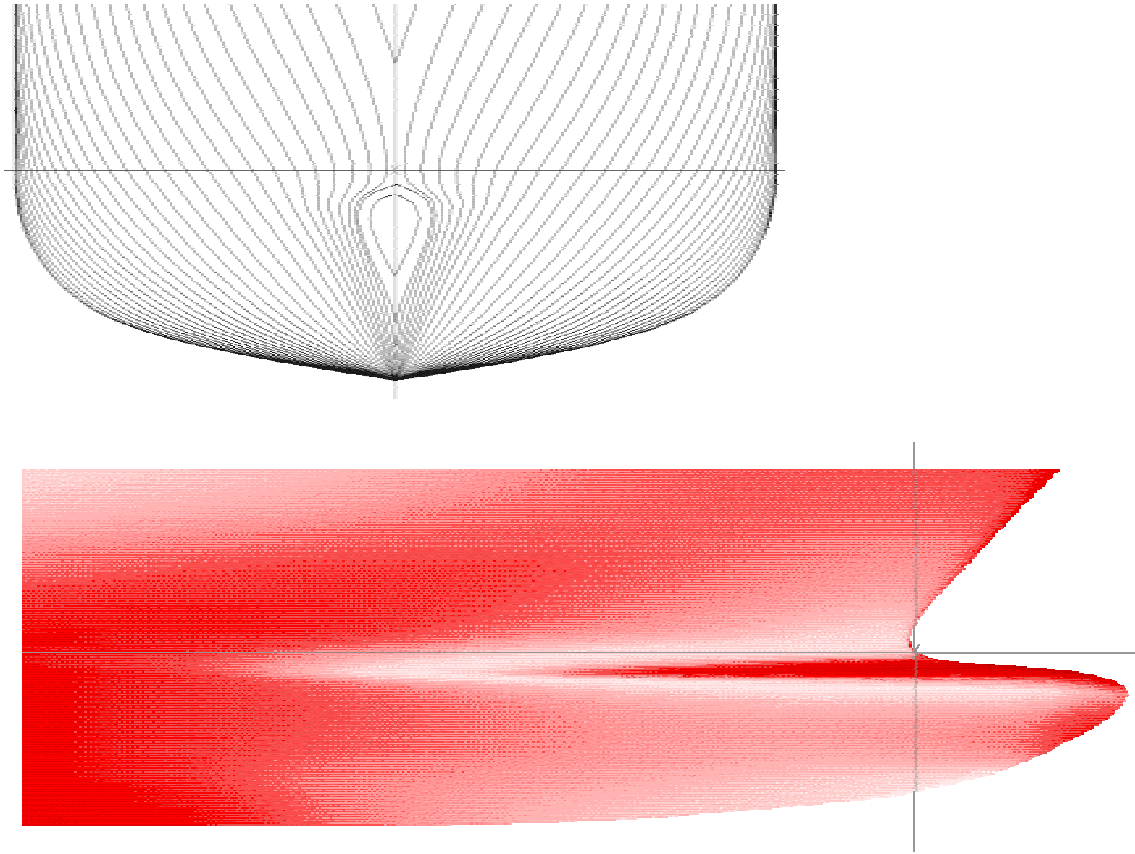


表7 在来船 型の 仕様

1 .	航行区域等 航行区域 資格	限定近海区域 JG第2種船
2 .	船体主要寸法等 全長 垂線間長 幅 (型) 第 深さ (型) 第 1甲板まで 深さ (型) 第 2甲板まで 計画喫水 (型) 載貨重量	235 m 225 m 24.0 m 21.5 m 10.0 m 6.6 m 4,300 ton at d = 6.6m
3 .	車輛台数等 車輛台数(12mシャーシ) 貨物重量	120 台 3360 ton
4 .	旅客及び乗組員定員 旅客定員数 乗組員数 最大搭載人員	12 名 18 名 30 名
5 .	推進装置等 主機 出力 MCR NOR 推進器 パウスラスター スタンスラスター	18PC4 – 2B × 3 32,400ps × 3 29,160ps × 3 CPP × 3 30 ton × 1 20 ton × 1
6 .	航海速力 シーマージン 航続距離	35 knots 15% 1,000 n.m.

表8 カタ マランの 仕様

		A	B
1 .	航行区域等 航行区域 資格	限定近海区域 JG第4種船	限定近海区域 JG第4種船
2 .	船体主要寸法等 全長 垂線間長 幅 (型) 深さ (型) 上 甲板まで 深さ (型) 乾 舷甲板まで 計画喫水 (型) 載貨重量	199.90 m 196.00 m 29.00 m 14.50 m 9.50 m 4.20 m 3,750 t	199.90 m 196.00 m 29.00 m 14.40 m 9.40 m 4.10 m 3,000 t
3 .	車輛台数等 車輛台数(12mシャーシ) 貨物重量	120台 3,000 t	120台 2,000 t
4 .	旅客及び乗組員定員 旅客定員数 乗組員数 最大搭載人員	12名 15名 27名	12名 15名 27名
5 .	推進装置等 主機 出力 MCR NOR 推進器 パウスラスター	ガスタービン駆動 LM2500+ × 基 55,200 kW 55,200 kW ウォータージェット × 2基 1基	ガスタービン駆動 LM2500+ × 4基 106,200 kW 106,200 kW ウォータージェット × 4 基 1基
6 .	航海速力(10%SMにて) 航続距離	35.0 kt 1000 n.m.	40.0 kt 1000 n.m.

高速单洞物流船 一般配置图

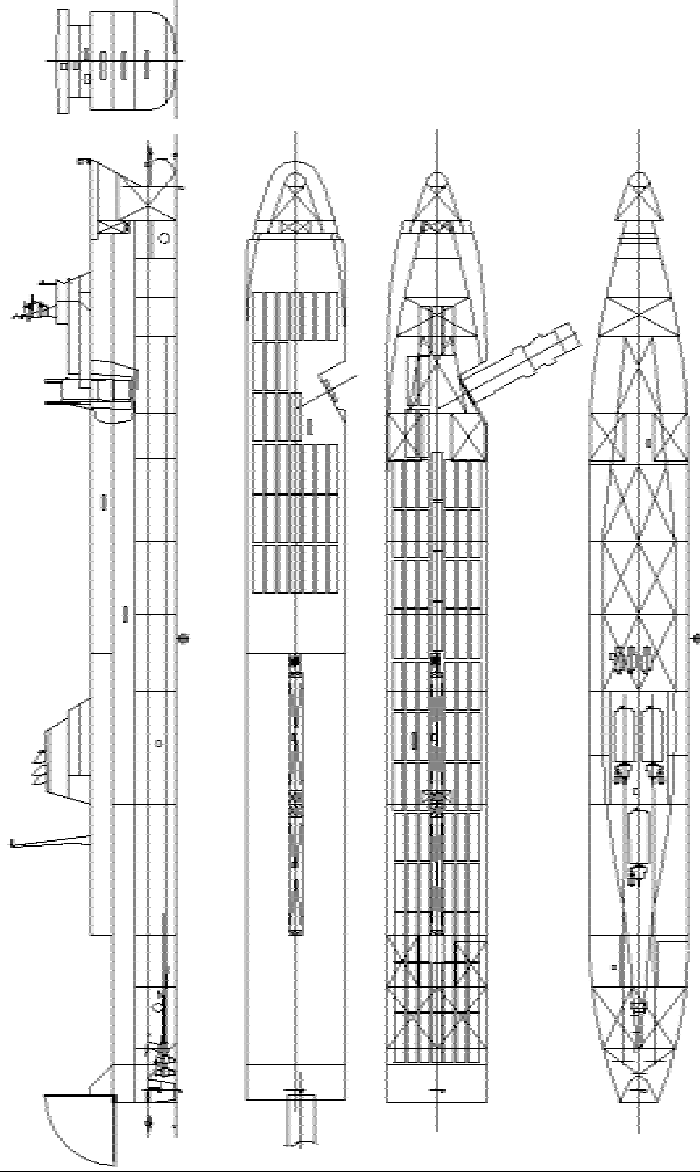


図5
在来船型
一般配置

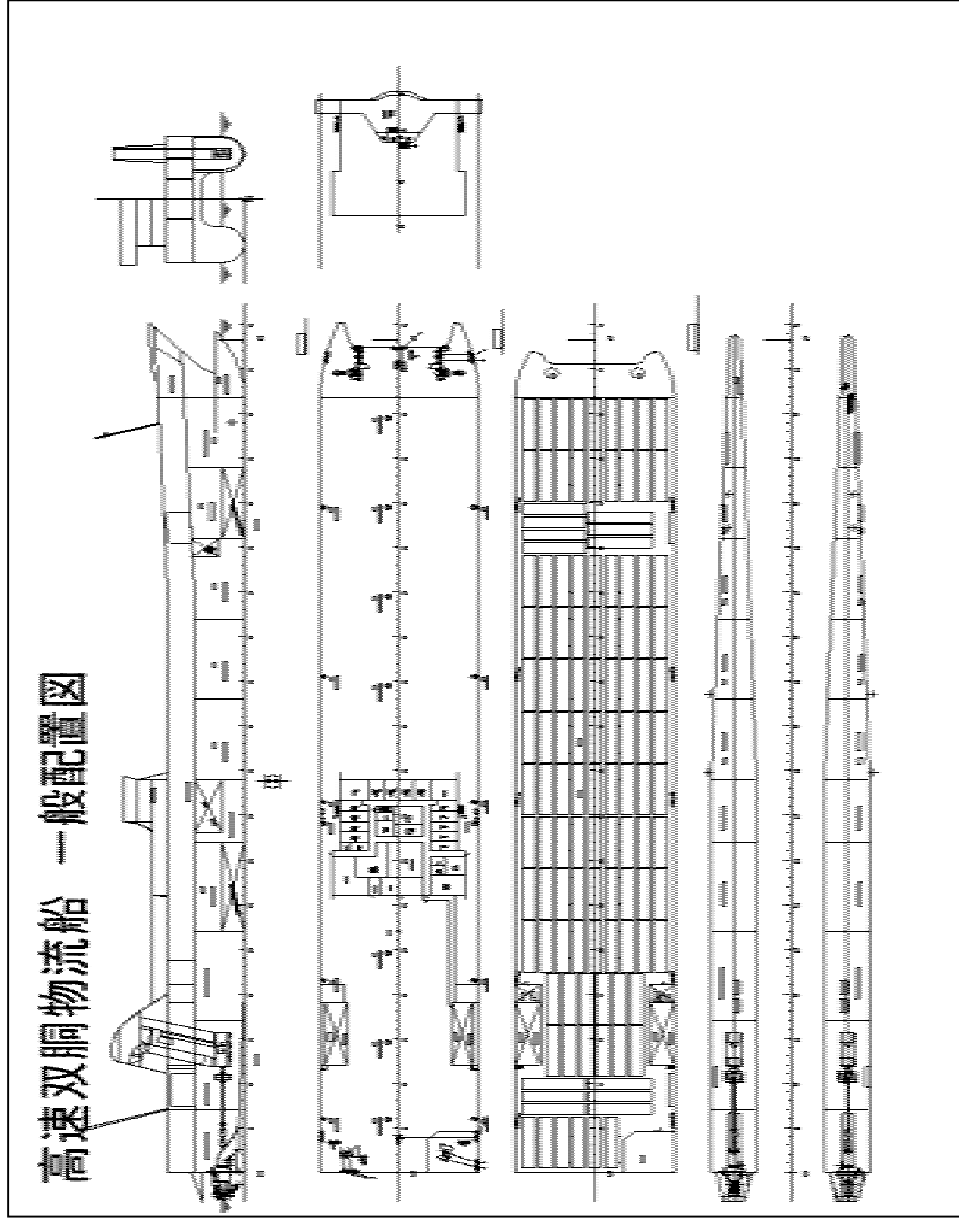


図6 カタ
マランの
一般配置

表 9 消席率50%の場合のダイヤ・運賃

消席率50%	time	船速	ダイヤ(往復)	隻数	台/便	消席率	総費用	利潤	運賃
	時間	ノット	便/日	隻	台	%	千円/隻年	千円/隻年	千円
単胴	11	35	40	25	60	50	3,749,882	187,494	110.3
カタランA	11	35	40	25	60	50	3,012,108	150,605	88.6
カタランB	10	40	40	20	60	50	4,854,129	242,709	114.2

表10 消席率65%の場合のダイヤ・運賃

消席率65%	Time	船速	ダイヤ(往復)	隻数	台/便	消席率	総費用	利潤	運賃
	時間	ノット	便/日	隻	台	%	千円/隻年	千円/隻年	千円
単胴	11	35	31	20	78	65	3,749,882	187,494	86.4
カタランA	11	35	31	20	78	65	3,012,108	150,605	69.4
カタランB	10	40	31	16	78	65	4,854,129	242,709	89.5

まとめ

- 在来船型 77億円、カタマラン(35kt) 85億円、カタマラン(40kt) 115億円
- 9万円での採算は50%消席率でカタマラン(35kt)のみ
- 一日20便で全トラックの14%をフェリーで運べる
 - 構造・機関など詳細検討が必要

長距離フェリー・RORO航路

物流ネットワーク解析に基づく 最適船型・航路運賃等の決定

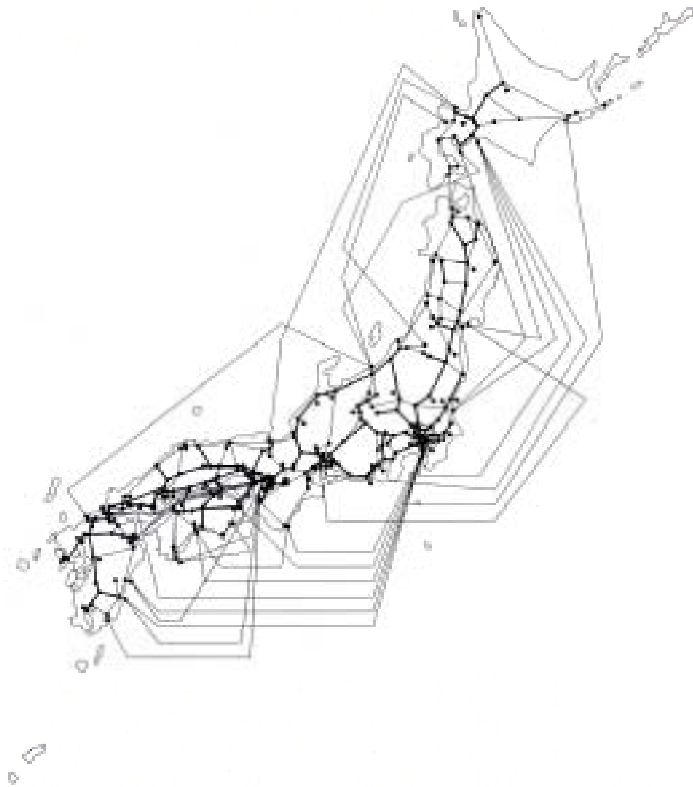
勝原光治郎



独立行政法人

海上技術安全研究所

物流ネットワーク解析

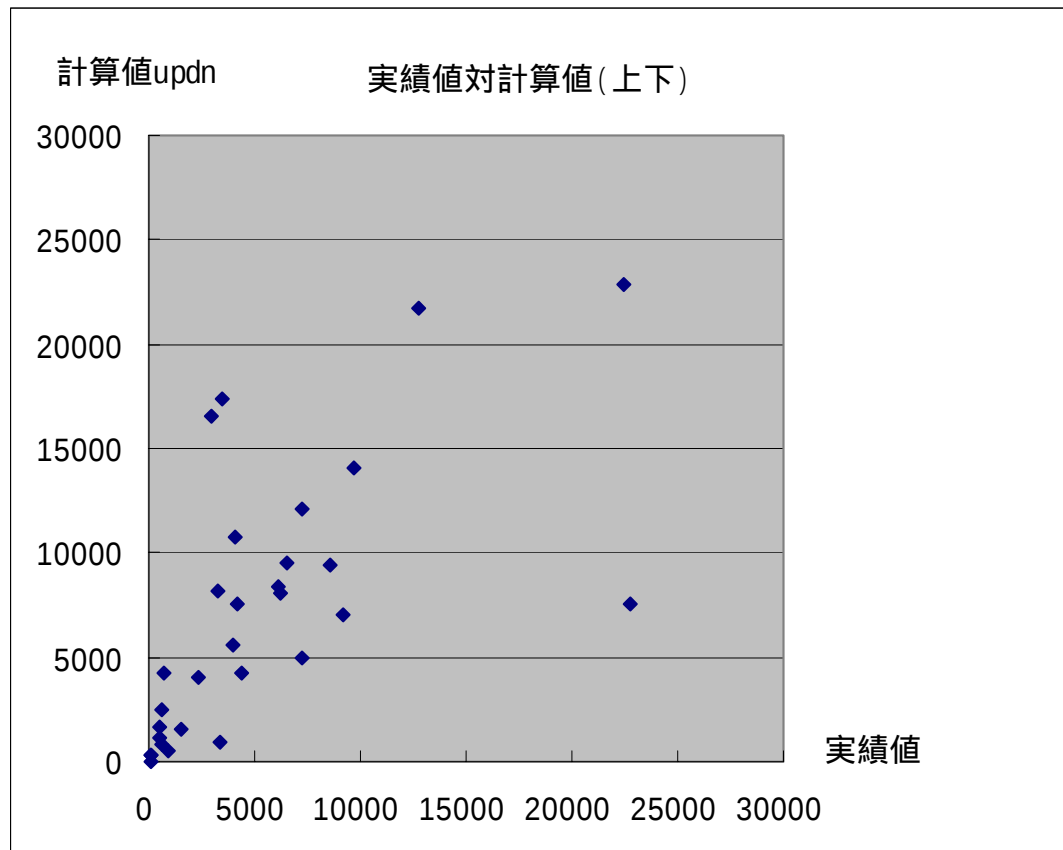


海技研提案
事業団公募型研究
造研SR501
事業団研究

国内フェリー物流シミュレーター

需要予測プログラム

国内長距離フェリー37航路の
荷物需要量予測と実績の対比(トン / 3日)



独立行政法人

海上技術安全研究所

国内フェリー物流シミュレーター

東京 / 名古屋-大分航路 設定条件

航路名(距離km)

運賃・所要時間	時間1	時間2	時間3
運賃1	Index番号		
運賃2			
運賃3			

東京 - 大分(926km) path489

運賃・所要時間	20	24.9	30
100000	11000	21000	31000
130000	12000	22000	32000
160000	13000	23000	33000

名古屋 - 大分(683km) path488

運賃・所要時間	14	18.3	22
70000	11000	21000	31000
100000	12000	22000	32000
130000	13000	23000	33000



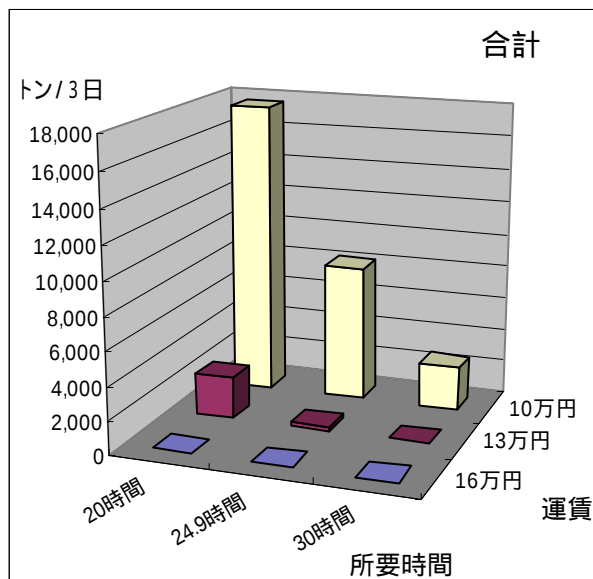
独立行政法人

海上技術安全研究所

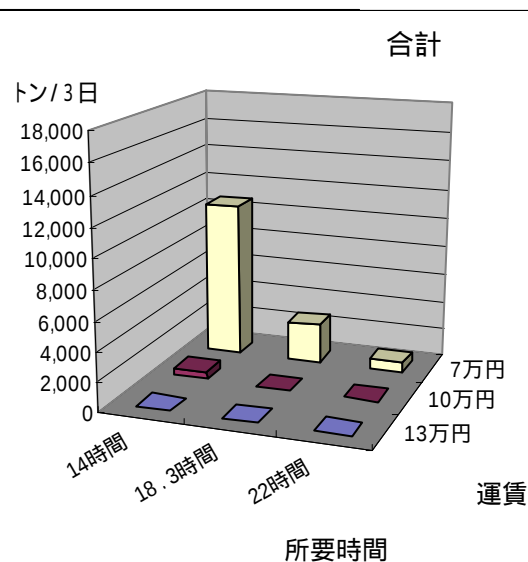
国内フェリー物流シミュレーター

設定条件を変えて行った需要予測結果

東京-大分航路(上下合計)

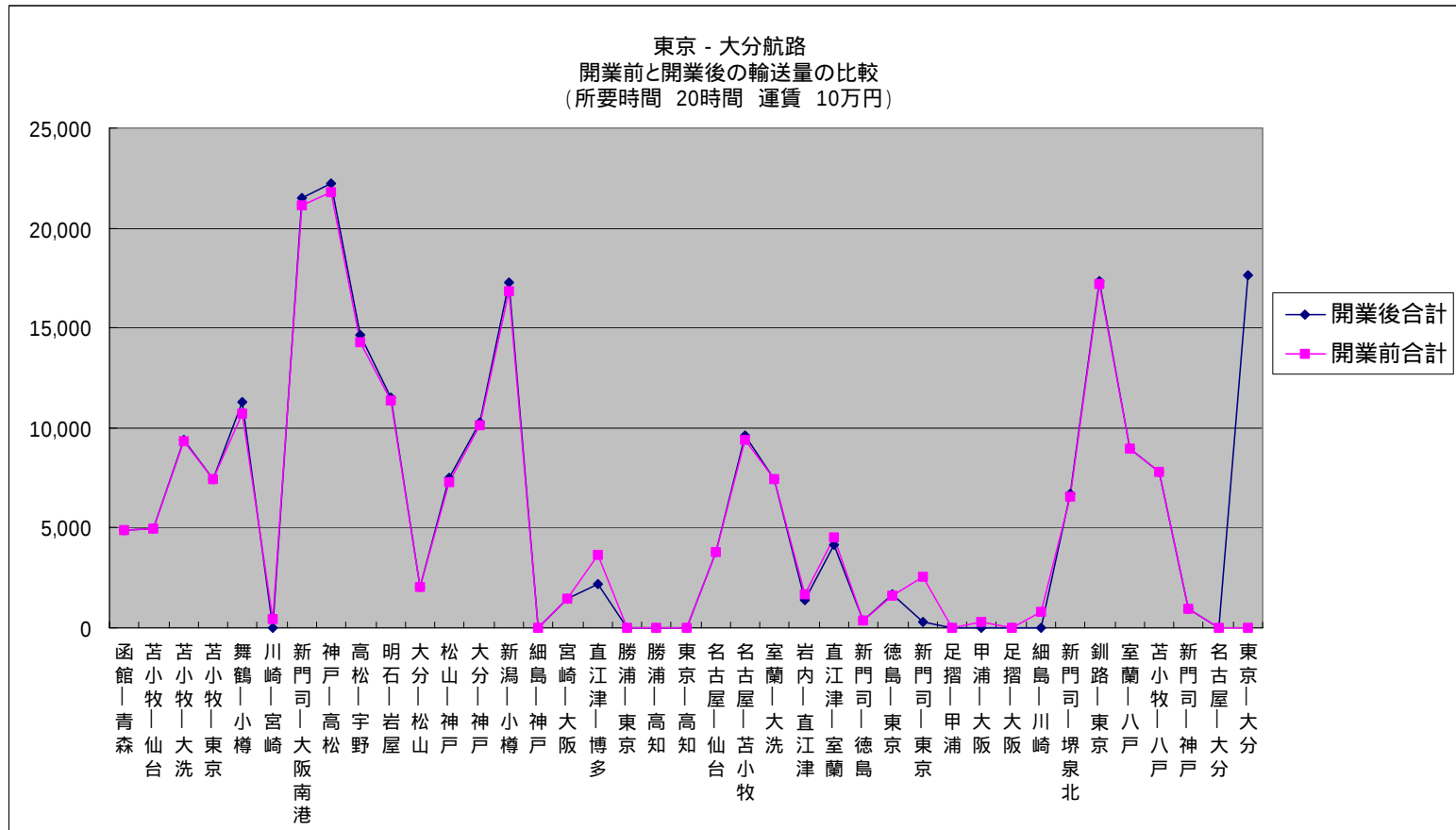


東京-名古屋航路(上下合計)



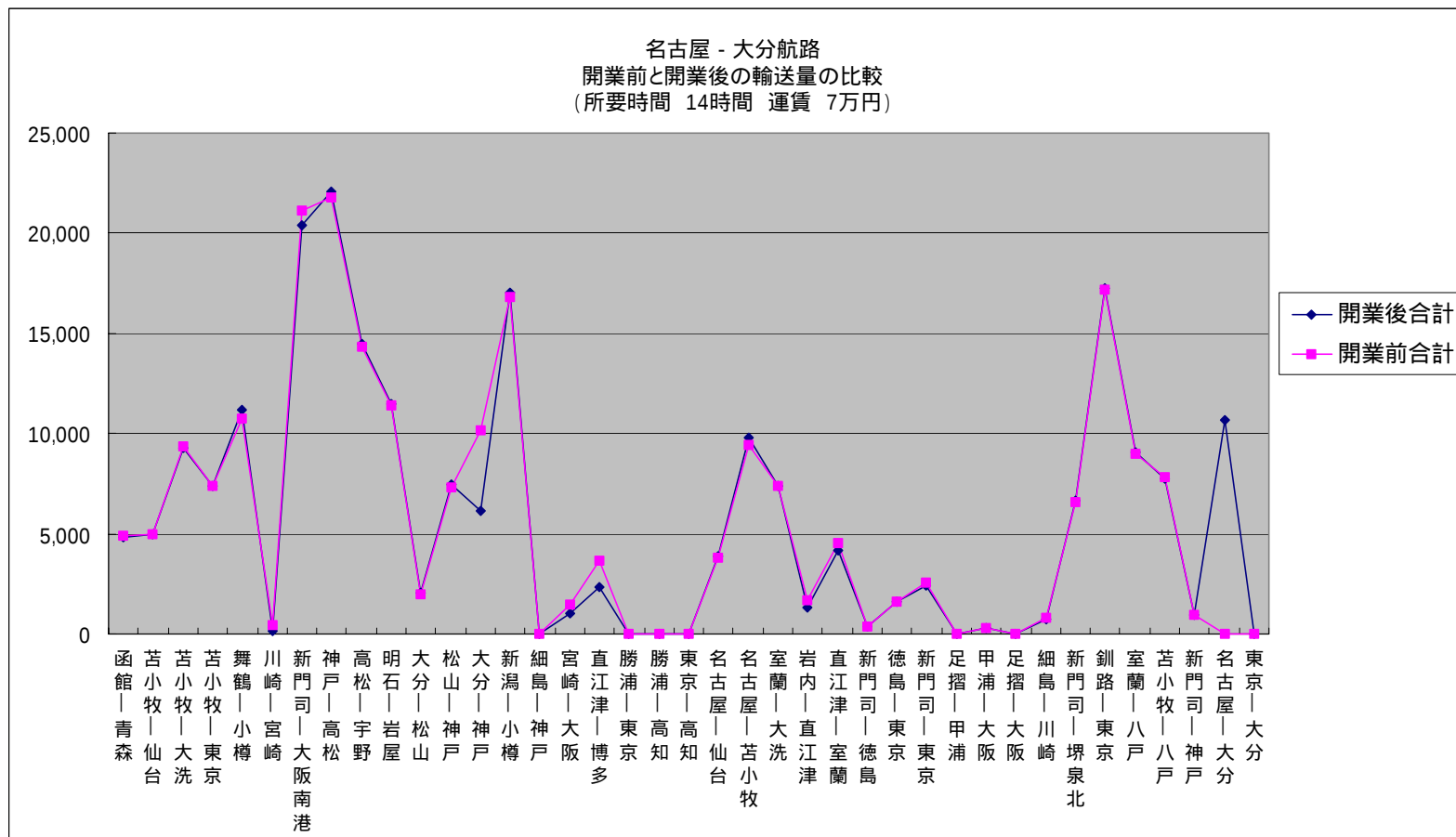
独立行政法人

海上技術安全研究所



独立行政法人

海上技術安全研究所



独立行政法人

海上技術安全研究所

国内フェリー物流シミュレーター

採算性上位の船型主要目(東京・大分)

東京 - 大分航路 利益率上位14種(船隊・船型・採算)

	Index	利益率	全長	垂線間 長	船幅	レーン 数	船殻重 量	船装重 量	機装電 装重量	主機 MCR	主機 台数	旅客 数	フェリー=0: RoRo=1	総トン数
1	11251	0.247	217	198	27	8	7450	1216	1318	12197	2	0	1	15054
2	11352	0.244	211	192	24	7	6517	1152	1269	11422	2	0	1	13110
3	11253	0.226	195	177	30	9	7088	1191	1286	13592	2	0	1	14300
4	11453	0.22	140	127	24	7	3788	964	1090	9325	2	0	1	7419
5	11252	0.219	246	224	24	7	7923	1249	1359	12125	2	0	1	16041
6	11351	0.205	187	170	27	8	6135	1126	1235	13119	2	0	1	12314
7	11262	0.15	209	190	24	7	6415	1145	1263	11458	2	0	1	12897
8	11261	0.105	184	168	27	8	6040	1119	1229	13280	2	0	1	12114
9	11461	0.071	137	125	20	6	3269	929	1061	9429	2	0	1	6336
10	11361	0.062	179	163	24	7	5255	1065	1187	13374	2	0	1	10478
11	11163	0.032	234	213	36	11	10376	1417	1460	17699	2	0	1	21157
12	11353	0.014	167	152	30	9	5842	1106	1209	19618	2	0	1	11702
13	11171	0.003	232	211	30	9	8794	1309	1389	13227	2	0	1	17858
14	11173	-0.003	210	191	33	10	8431	1284	1358	14533	2	0	1	17100

	Index	トレーラ 積載台 数	トラック 積載台 数	燃費	深さ	常用出 力	載貨重 量	所要時 間	フェリー 料金	年間輸 送量	便数	航海 船速	必要隻 数	ペイロ ード	カット オフ率	航路 長
1	11251	190	0	3.0	6.6	10978	6127	20.0	100000	892900	0.9	26.0	2	2855	100.0	926
2	11352	163	0	2.8	6.8	10280	5386	20.0	100000	892900	1.0	26.0	2	2446	100.0	926
3	11253	190	0	3.3	6.4	12233	6084	20.0	100000	892900	0.9	26.0	2	2855	100.0	926
4	11453	108	0	2.3	5.8	8393	3768	20.0	100000	892900	1.5	26.0	3	1631	100.0	926
5	11252	190	0	3.0	6.9	10913	6183	20.0	100000	892900	0.9	26.0	2	2855	100.0	926
6	11351	163	0	3.2	6.6	11807	5340	20.0	100000	892900	1.0	26.0	2	2446	100.0	926
7	11262	161	0	2.8	6.7	10312	5327	20.0	100000	892900	0.9	26.0	2	2418	84.7	926
8	11261	161	0	3.3	6.6	11952	5282	20.0	100000	892900	0.9	26.0	2	2418	84.7	926
9	11461	92	0	2.3	5.7	8486	3329	20.0	100000	892900	1.5	26.0	3	1382	84.7	926
10	11361	138	0	3.3	6.3	12036	4650	20.0	100000	892900	1.0	26.0	2	2073	84.7	926
11	11163	276	0	4.4	6.1	15929	8470	20.0	100000	892900	0.5	26.0	1	4145	84.7	926
12	11353	163	0	4.8	6.4	17657	5305	20.0	100000	892900	1.0	26.0	2	2446	100.0	926
13	11171	226	0	3.3	6.4	11904	7123	20.0	100000	892900	0.5	26.0	1	3398	69.4	926
14	11173	226	0	3.6	6.2	13079	7081	20.0	100000	892900	0.5	26.0	1	3398	69.4	926



独立行政法人
海上技術安全研究所

国内フェリー物流シミュレーター

採算性上位の船型主要目(名古屋・大分)

名古屋 - 大分航路 利益率上位10種(船隊・船型・採算)

	Index	利益率	全長	垂線間長	船幅	レーン数	船殻重量	船装重量	機装電装重量	主機MCR	主機台数	旅客数	フェリー=0: RoRo=1	総トン数
1	11353	-0.154	150	136	26.6	8	4705	1027	1221	12357	2	0	1	9332
2	11363	-0.239	135	123	23.5	7	3659	955	1147	10892	2	0	1	7150
3	11263	-0.246	140	127	26.6	8	4277	998	1188	12191	2	0	1	8440
4	11251	-0.251	197	179	23.5	7	6091	1123	1335	16519	2	0	1	12222
5	11271	-0.269	136	124	20.4	6	3278	929	1123	6855	2	0	1	6356
6	11153	-0.274	222	202	35.9	11	9951	1388	1564	19784	2	0	1	20269
7	11151	-0.296	243	221	32.8	10	10343	1415	1602	20594	2	0	1	21087
8	11351	-0.306	170	154	23.5	7	5007	1048	1252	19260	2	0	1	9962
9	11253	-0.329	174	158	26.6	8	5721	1097	1297	22654	2	0	1	11449
10	11161	-0.333	214	195	29.7	9	8159	1265	1463	17717	2	0	1	16533

	Index	トレーラ積載台数	トラック積載台数	燃費	深さ	常用出力	載貨重量	所要時間	フェリー料金	年間輸送量	便数	航海船速	必要隻数	ペイロード	カットオフ率	航路長
1	11353	131	0	3.0	6.5	11121	4390	14.0	70000	717300	1.0	27.9	2	1965	100.0	683
2	11363	104	0	2.7	6.1	9803	3634	14.0	70000	717300	1.0	27.9	2	1569	79.8	683
3	11263	122	0	3.0	6.3	10972	4129	14.0	70000	717300	0.9	27.9	2	1831	79.8	683
4	11251	152	0	4.1	7.0	14867	5040	14.0	70000	717300	0.9	27.9	2	2293	100.0	683
5	11271	91	0	1.7	6.0	6170	3283	14.0	70000	717300	0.9	27.9	2	1369	59.7	683
6	11153	262	0	4.9	6.2	17806	8042	14.0	70000	717300	0.5	27.9	1	3930	100.0	683
7	11151	262	0	5.1	6.4	18534	8083	14.0	70000	717300	0.5	27.9	1	3930	100.0	683
8	11351	131	0	4.7	6.7	17334	4424	14.0	70000	717300	1.0	27.9	2	1965	100.0	683
9	11253	152	0	5.6	6.8	20389	4998	14.0	70000	717300	0.9	27.9	2	2293	100.0	683
10	11161	209	0	4.4	6.6	15945	6606	14.0	70000	717300	0.5	27.9	1	3138	79.8	683



独立行政法人

海上技術安全研究所

全体まとめ

- 数理計画法とシミュレーション
 - 数理計画法で路線設定
 - シミュレーションでサービス設定
 - データの集積
- 実例計算
 - コンテナ船、インドネシア海運、北海道高速フェリーなど実施
 - 実証？

今後

- 海上技術安全研究所物流研究センター

2004年2月発足

- 造船学会海上物流研究プロジェクト委員会
- 便益と採算性の評価必要
- 事業者のノウハウの集積