

令和元年(第19回)海上技術安全研究所講演会

システムズアプローチによる 海事産業の意思決定支援に向けて



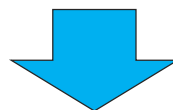
海洋リスク評価系 柚井智洋
知識データ・システム系 和中真之介
東京大学大学院 稗方和夫



1. はじめに
2. システムズアプローチとは
3. システムズアプローチを用いた研究事例
4. 今後の予定
5. まとめ

- ✓ 社会や産業は、技術や制度により構成される様々な要素を組み合わせたシステムとして機能している
- ✓ システムを取り巻く外部環境の変化に対応するため、成熟したシステムは環境への適合が必要である
 - 人口構成、ライフスタイルといった社会環境の変化
 - 産業構造や情報化などの技術革新

- ✓ 複雑化し続けるシステムを動的な外部環境に適合させてシステムの問題を解決するには、個人の能力や資質では不可能で、分野を超えた協業が必要である



- ✓ 深く効率的な異分野チームワークのためには、「システムズアプローチ」のフレームワークを既存システムへの共通認識とコミュニケーション基盤として利用する必要がある

システムズアプローチ

システム構築学
システムオブシステムズ
シミュレーション
モデルベース意思決定
チームワークサイエンス
チームワークエンジニアリング

船舶：多数の部品から成る
複雑システム

海事業界：多数の利害関係者から
成る複雑システム



1人/1社で全体を把握することは不可能



意思決定の難しさ

変化し続ける外部環境

- ✓ 市場変動（需要、燃料価格、運賃等）
- ✓ 技術革新（AI、IoT、DT等）
- ✓ 規制

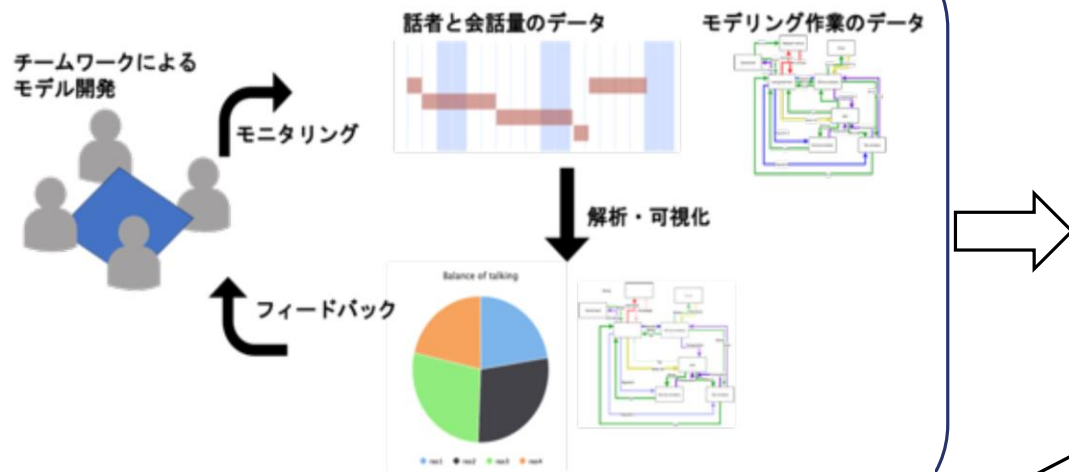


将来予測の難しさ



海事業界の複雑性及び不確実性等に対する意思決定のシステムズアプローチ（チームワーク+モデルベースシミュレーション）による支援を目指す

チームワークによるモデル開発



モデルベースシミュレーション

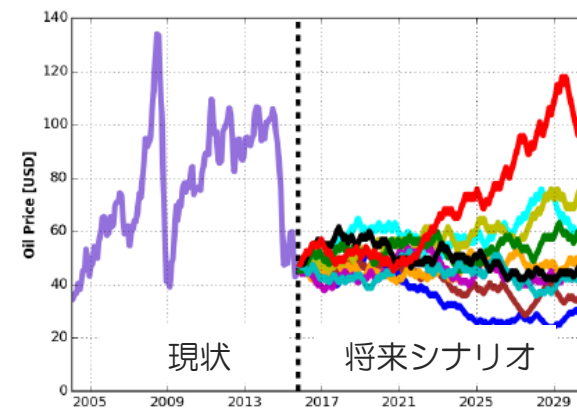
現状データ（貨物需要、燃料価格、運賃、...etc.）

シナリオ計算モデル

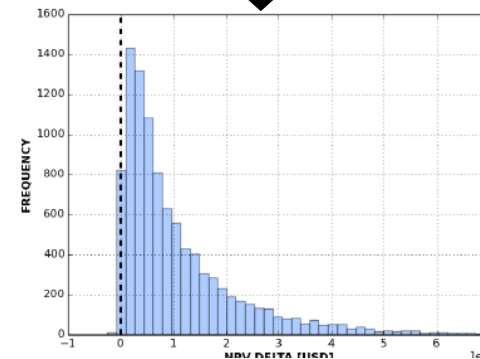
将来シナリオ（貨物需要、燃料価格、運賃、...etc.）

性能計算モデル

Cost, Benefit, CO2 排出量, ...etc.



油価格の推移*



Net Present Valueの推定結果*

人間による意思決定機構



調整

社会現象のデジタルツイン



出力

*) 齋藤：リアルオプション導入による船舶のライフサイクル価値向上に関する研究。

1. はじめに

2. システムズアプローチとは

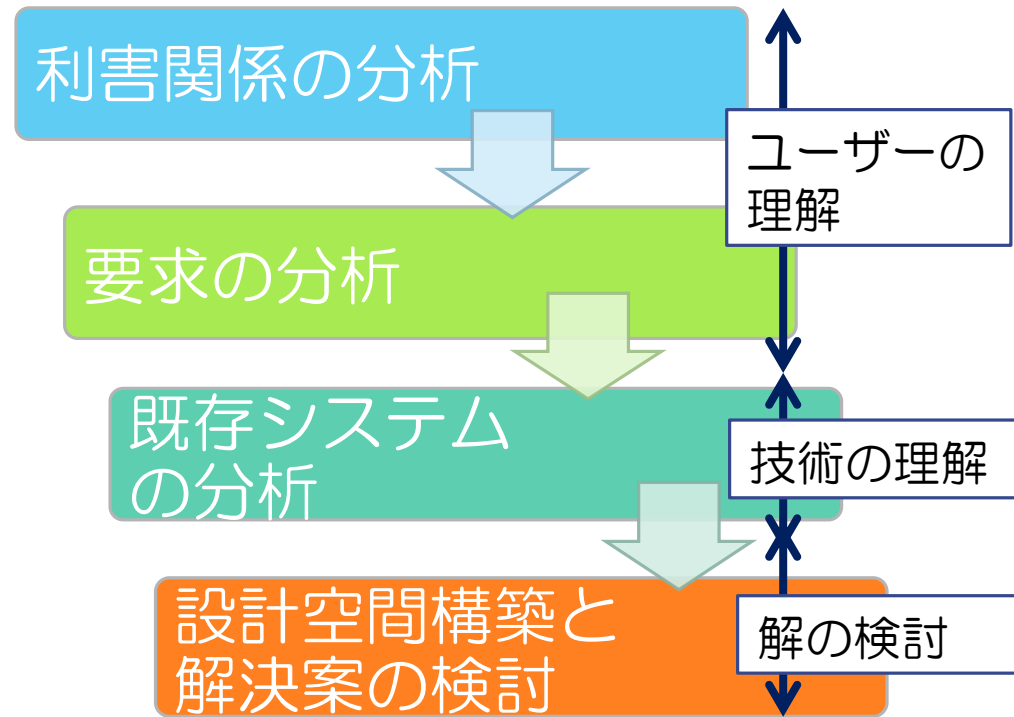
3. システムズアプローチを用いた研究事例

4. 今後の予定

5. まとめ

- ✓ システムは様々な要素から成り、その機能は個別の要素の総和以上となる
- ✓ システムの要素は、システムが結果として生み出すものに関する限り、人間、ハードウェア、ソフトウェア、設備、ポリシー、文書などを含むことができる
- ✓ システムが生み出す結果とは属性や、特徴、機能、振る舞い、性能などが含まれ、システム化による機能の発現を創発(emergence)と呼ぶ
- ✓ 価値に注目して考えると、システムは個々の要素が独立に生み出す価値の和よりも、システム全体として大きな価値を生み出しているときに成立している

- ✓ 対象をシステムとして捉えるシステムシンキングとそれに基づく手法の集合
 - システムの利害関係者やその要求、システムが機能を発現するメカニズムなどの記述方法
 - 記述されたシステムの問題を特定し、システムのパフォーマンスを向上する手法

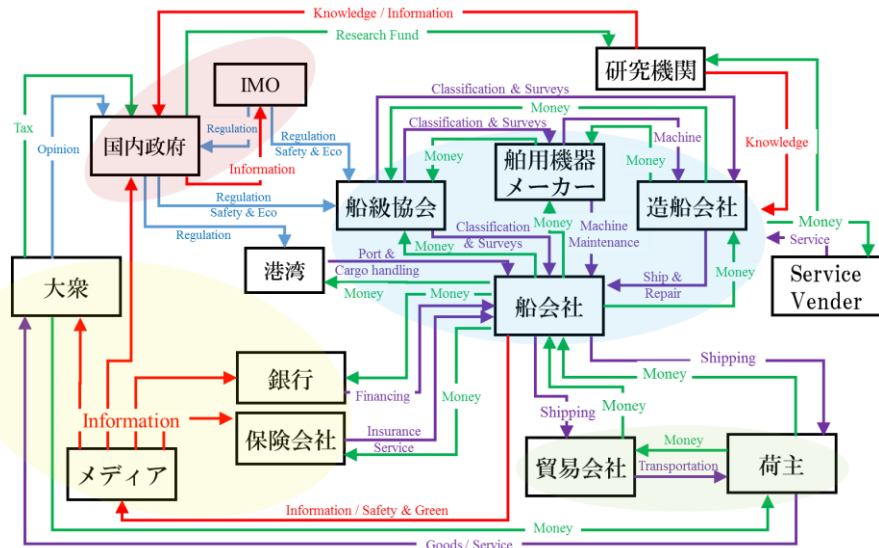


- 対象とするシステムの利害関係者とその関係を理解
- 利害関係者がシステムに期待する要求を「機能要求（例：輸送すること）」と「非機能要求（例：確実性、経済効率性、定時性等）」の組み合わせで検討
- ミッション分析：各利害関係者がシステムから便益を得る際の機能と便益を代表する属性の特定
- システム分析：現在のシステムがどのような「機能（技術及び制度）」で要求を満たしているかを分析
- 「機能（技術及び制度）」について、取り得る選択肢をシステム全体について考え、選択肢により設計空間を構築
- シミュレーション等によりシステムの挙動や性能をモデルベースで検討

2.4 大規模複雑システムを設計するための手法群（一部）¹¹



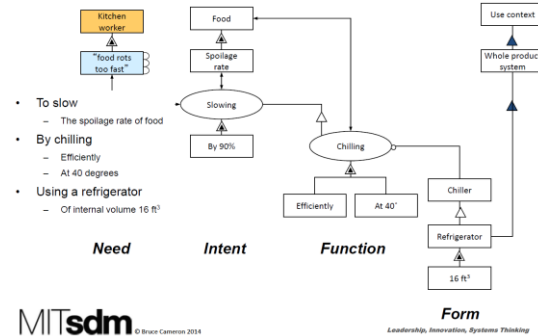
SVN(Stakeholder Value Network)



SPS(System Problem Statement)

To_By_Usingの形式でシステムとその価値を記述するフォーマットによるミッションの分析

システム記述言語(OPM)

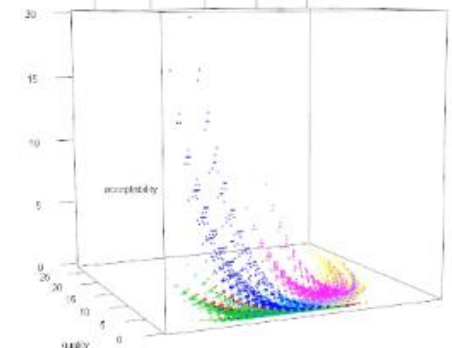


Morphological Matrix (MM)

による設計空間構築

設計項目	選択肢 1	選択肢 2	選択肢 3	選択肢 4	選択肢 5	
採用する技術	協調フィルタリング	RSS	Google Map	左の組み合わせ	左の技術は使用しない	地図情報が有益
想定ユーザ	男性	女性	性別を問わない			...
背景の色	緑	赤	黄色	青	その他	...
データベースの種類	PostgreSQL	MySQL	その他RDB	RDBを使わない		演習内では開発不可能
...						...
...						...

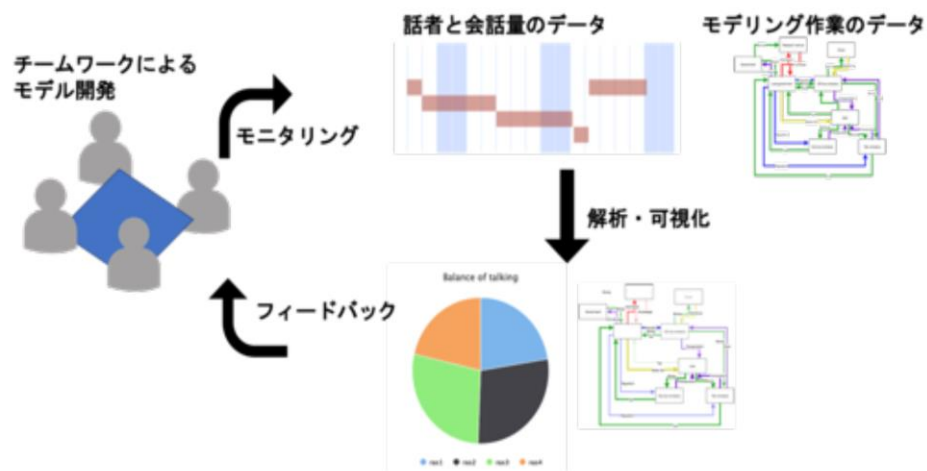
シミュレーションによる性能推定



参考) ハーバート・A. サイモン(稲葉ら訳) : システムの科学, パーソナルメディア; 第3版 (1999/6/12)
 NASA Systems Engineering Handbook (SP-2016-6105), Rev 2
 Edward Crawley, Bruce Cameron, Daniel Selva: System Architecture: Strategy and Product Development for Complex Systems, Pearson (2015)



チームワークによるモデル開発



モデルベースシミュレーション

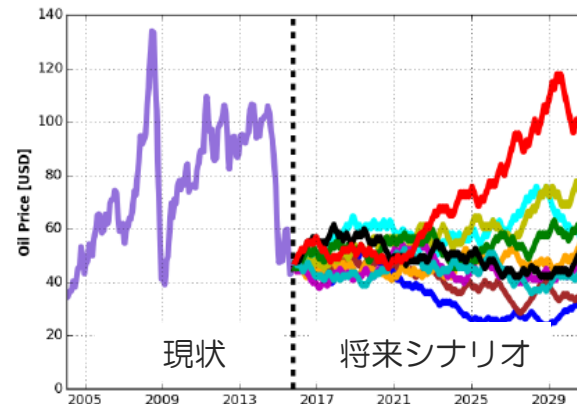
現状データ（貨物需要、燃料価格、運賃、...etc.）

シナリオ計算モデル

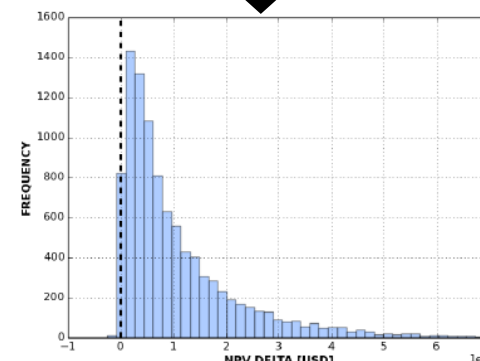
将来シナリオ（貨物需要、燃料価格、運賃、...etc.）

性能計算モデル

Cost, Benefit, CO2
排出量, ...etc.



油価格の推移*

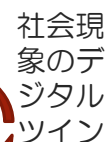


Net Present Valueの推定結果*

人間による
意思決定機構



調整



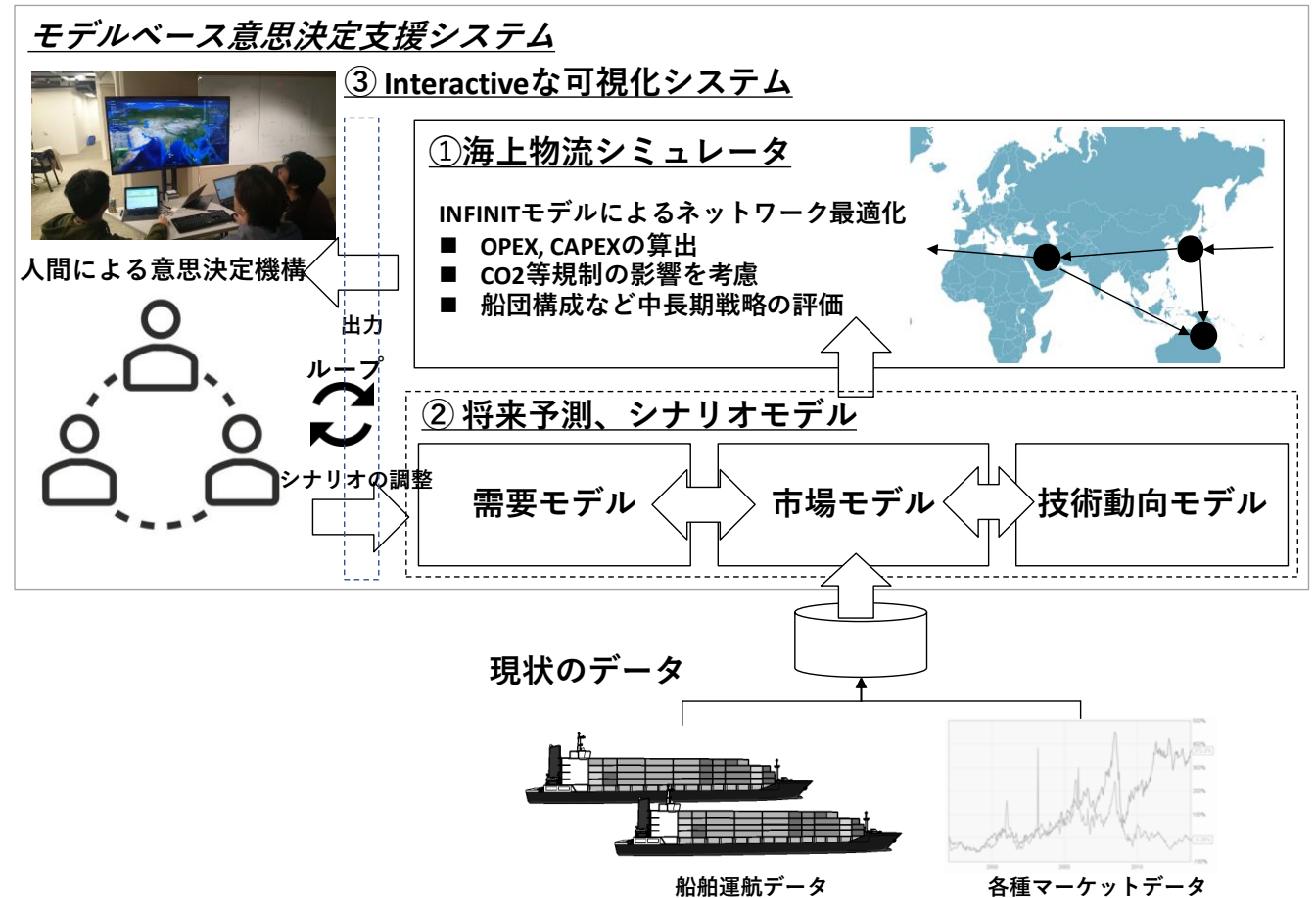
出力

*) 齋藤：リアルオプション導入による船舶のライフサイクル価値向上に関する研究。

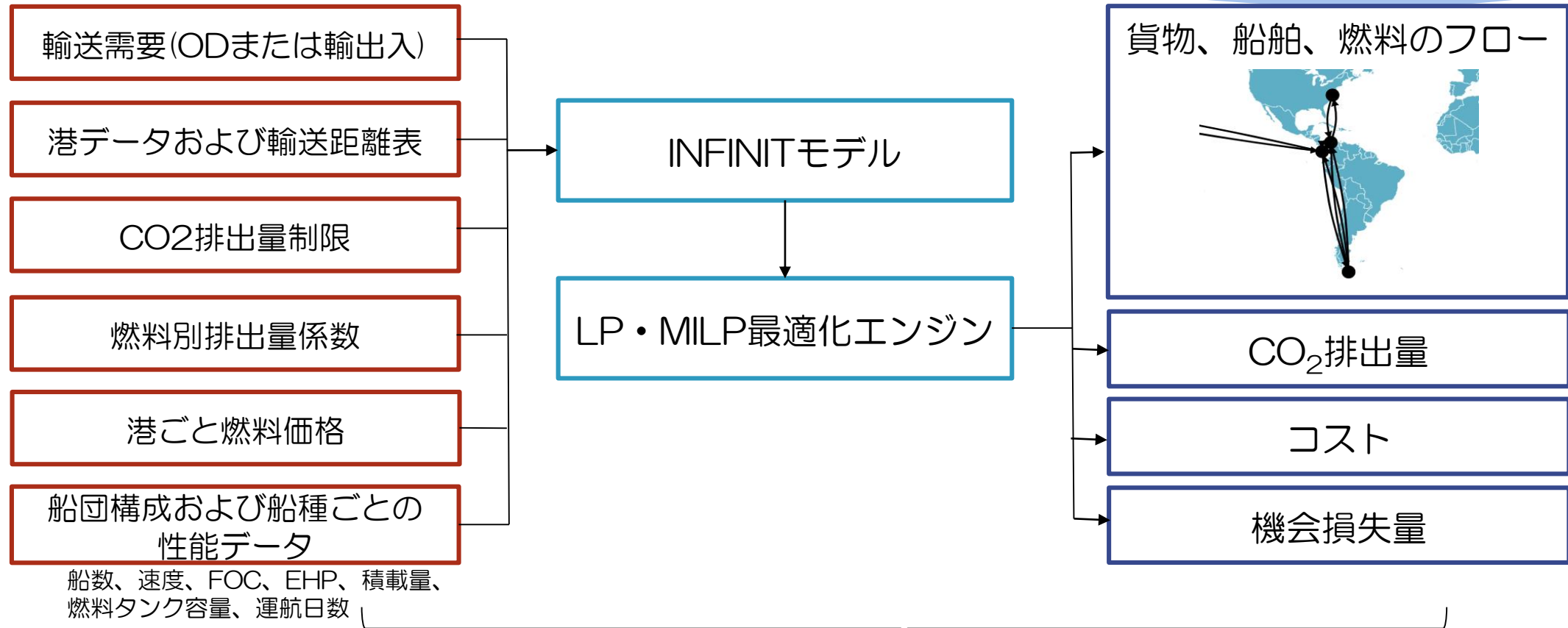
1. はじめに
2. システムズアプローチとは
3. システムズアプローチを用いた研究事例
4. 今後の予定
5. まとめ

研究概要

- ✓ 海上輸送の中長期に関わる意思決定をモデルベースで支援するシステムを提案
- ✓ 鉄鉱石の国際海上輸送を対象に、中長期のフリート戦略の評価・比較検討を実施



海上物流シミュレータの概要



繰り返しによって中長期の輸送を計算可能

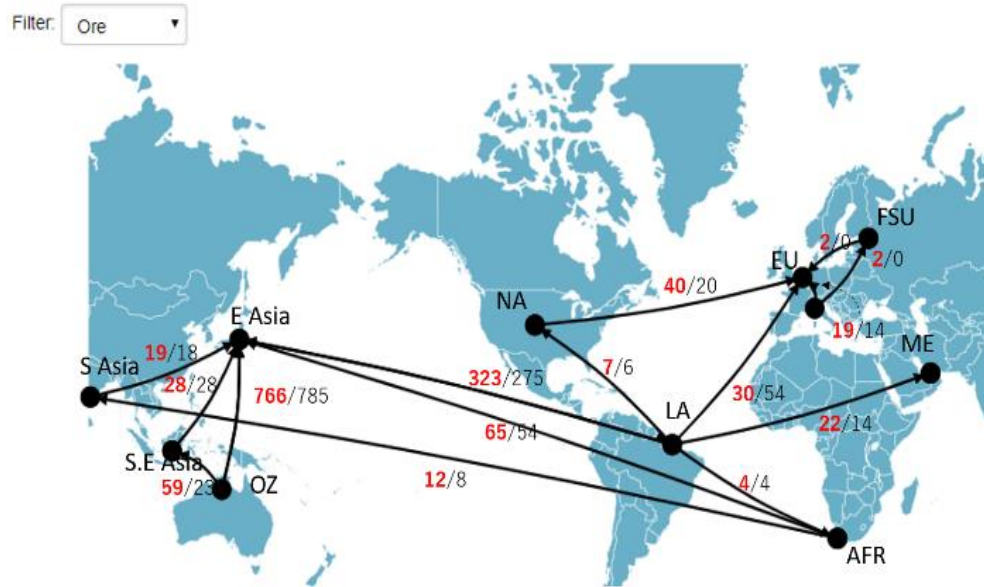
海上物流シミュレータの概要

目的関数：燃料コスト + 貨物コスト

制約条件：

- ✓ 地理的な制約
- ✓ CO2排出量（規制）による制約
- ✓ 船団輸送能力による制約
 - ※輸送能力が足りない時の処理
輸送コストの高いダミー船を導入
（機会損失として計上）

鉄鉱石の国際海上輸送：妥当性検証



黒字：実際の荷動き量

赤字：シミュレーション結果

- ✓ シミュレーション結果は少量の輸送の傾向を一部捉えることは出来ていないが、輸送ネットワークの大きなフローは捉えることが出来ている



開発したシミュレーションは妥当であると考えられる

鉄鉱石の国際海上輸送（中期でのフリート戦略）

前提：

- ✓ シミュレーション期間は15年
- ✓ 鉄鉱石需要は港毎に2%上昇
- ✓ CO2排出量規制は、初年度の1.5%の規制からスタートし、30年後には初年度の50%減

フリート戦略：

- ① HF0燃料のまま大型化
- ② LNG燃料に転換しつつ大型化

3.1 モデルベース意思決定支援システムの開発*

鉄鉱石の国際海上輸送（中期でのフリート戦略）

① HFO燃料のまま大型化

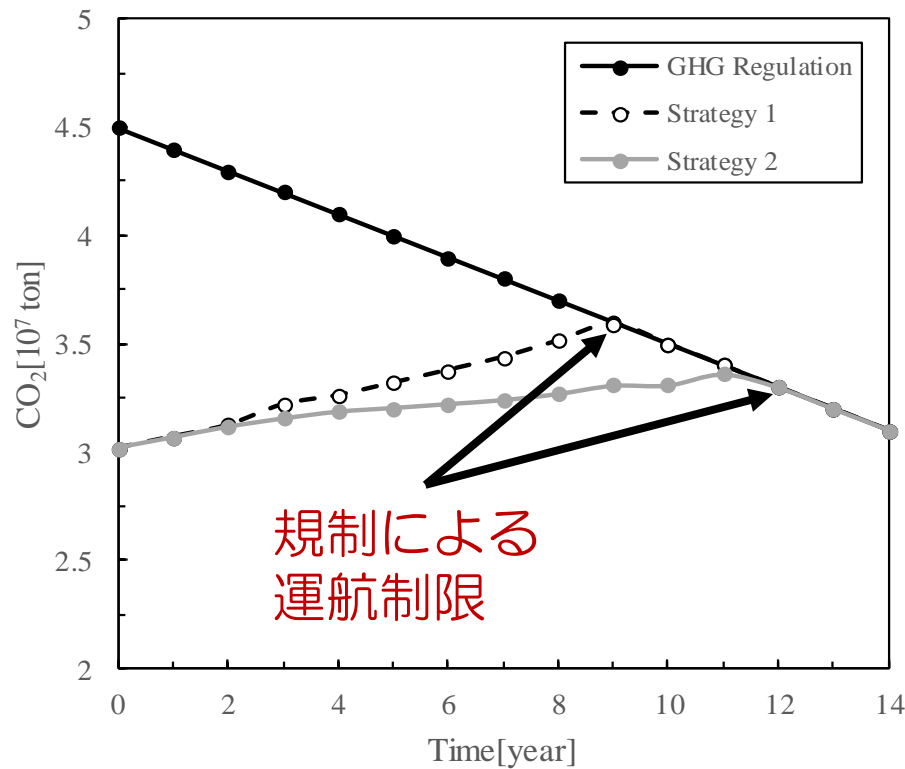
t (年)	HFO 100kdwt	HFO 175kdwt	HFO 250kdwt
1	100	1000	200
2	90	1000	210
3	80	1000	220
4	80	1000	220
5	80	1000	220
6	70	1000	230
7	60	1000	240
8	50	1000	250
9	50	1000	250
10	50	1000	250
11	50	1000	250
12	40	1000	250
13	40	1000	300
14	40	1000	300
15	30	1000	300

② LNG燃料に転換しつつ大型化

t (年)	HFO 100kdwt	HFO 175kdwt	HFO 250kdwt	LNG 100kdwt	LNG 175kdwt	LNG 250kdwt
1	100	1000	200	0	0	0
2	90	1000	200	0	0	10
3	80	1000	200	0	0	20
4	80	960	200	0	40	20
5	80	920	180	0	80	40
6	70	880	160	0	120	70
7	60	840	140	0	160	100
8	50	800	120	0	200	130
9	40	750	100	10	250	150
10	40	700	100	10	300	150
11	30	600	100	20	400	150
12	20	500	100	20	500	150
13	20	400	100	20	600	200
14	10	300	100	30	700	200
15	0	200	100	30	800	200

*)和中他：海上輸送におけるGHG削減に向けたモデルベース意思決定支援システムの開発、日本船舶海洋工学会講演会論文集、令和元年11月、第29号。

鉄鉱石の国際海上輸送（中期でのフリート戦略）：結果



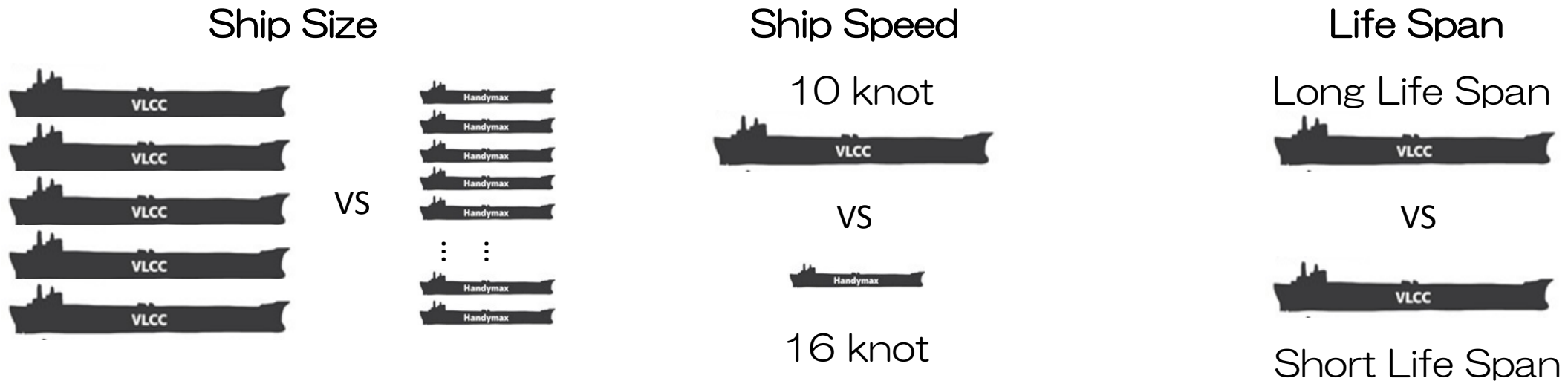
✓ LNG燃料の導入によって、3年間CO2排出量の規制による運航の制限を回避可能



シミュレーションにより、意思決定に有益な知見を得ることが出来た

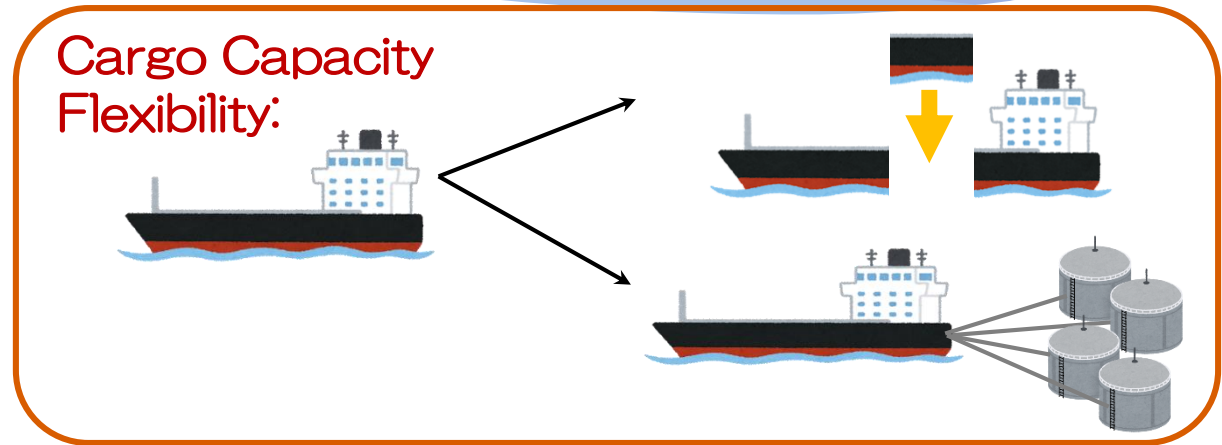
研究概要

- ✓ 東大MIT産学連携人材育成プログラムの研究成果
- ✓ 貨物需要変動に効率良く対応する手段の組み合わせ（ハード+ソフト）を検討

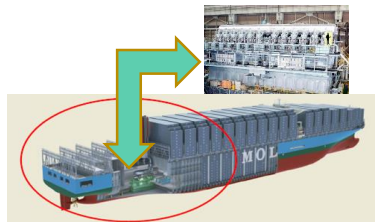
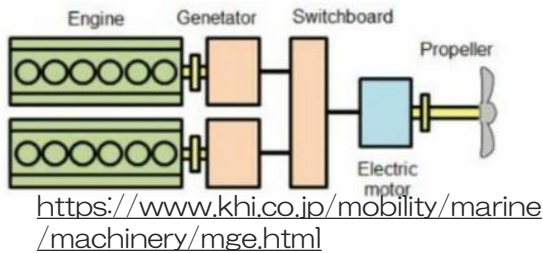


研究概要

- ✓ 新コンセプトの評価も実施
- (✓ CO2排出量低減対策の評価も実施)

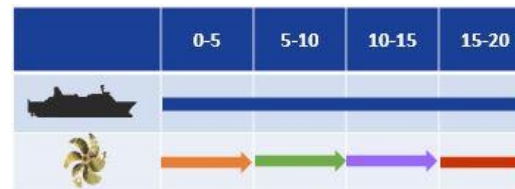
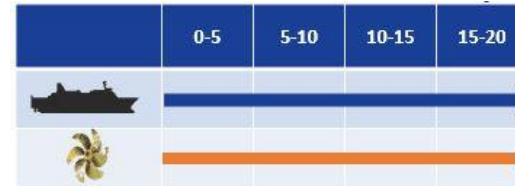


- Engine:
- Electric Propulsion
 - Modularized diesel engine



<https://www.mol.co.jp/ishin/engine/resent/>

- Propeller:
- Long Life Span
 - Short Life Span
 - CPP



<https://www.nakashima.co.jp/product/fpp.html>

- Energy Support:
- Wind
 - Solar



<https://www.mol.co.jp/pr/2012/12043.html>



<https://www.mol.co.jp/services/technology/>

設計空間構築

✓ 下記の意思決定項目の組合せが設計案となる

Table 1 Morphological Matrix on building phase

Decision Item	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4
Deadweight	50,000	150,000	300,000	500,000
Expected lifespan	5	10	25	50
Propulsion method	Diesel engine	Electrical propulsion	Modularized Diesel Engine	
Propulsion/Energy support	None	Sail	Solar Panel	
Propeller	Long life span	Short life span	CPP	
Cargo capacity	Fix	Modularized Cargo Tank	Train	

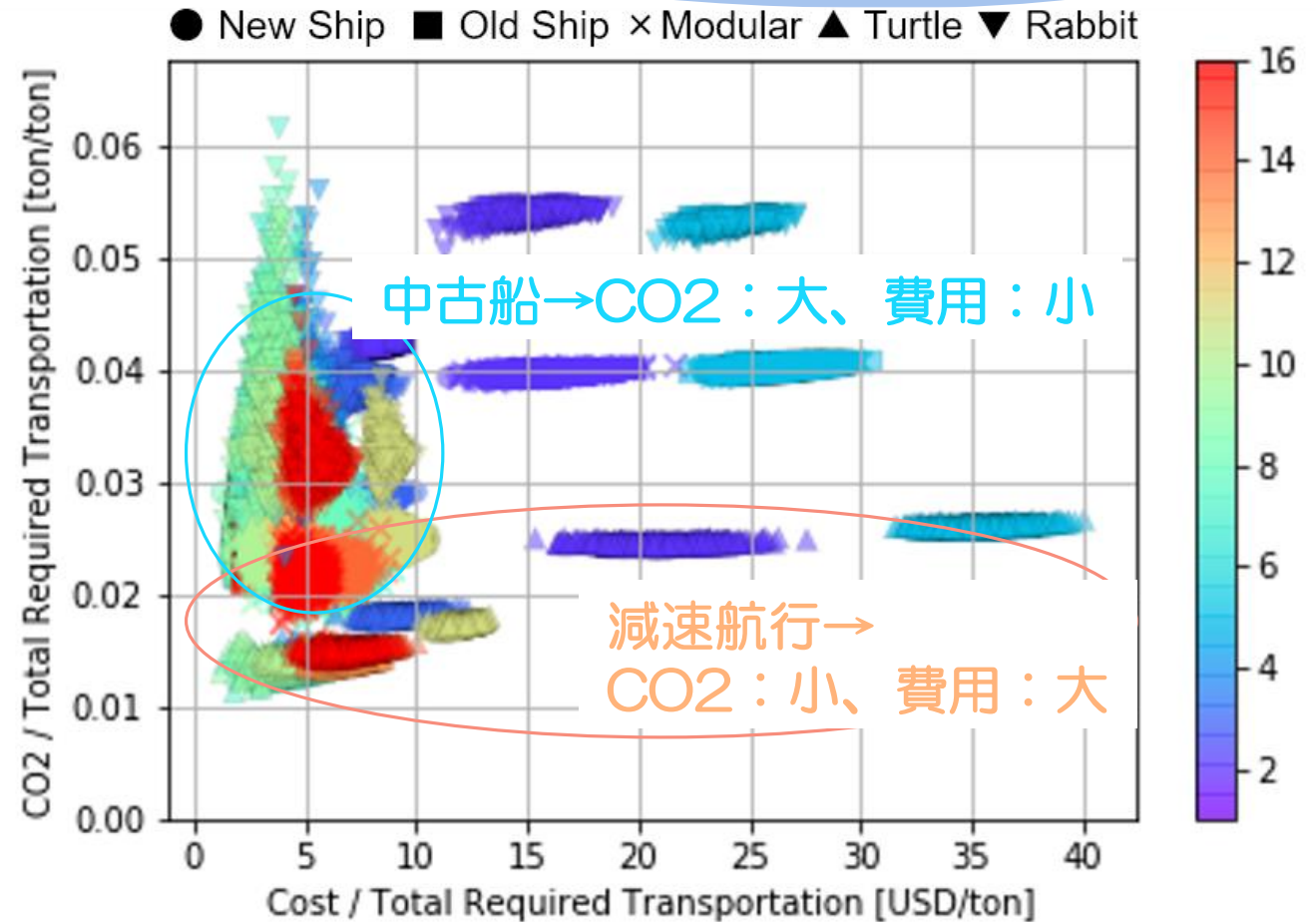
Table 2 Morphological Matrix on operational phase

Decision Item	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4
Capacity change (one ship level)	None	Tank increase/reduction	Trainization	
Ship increase	None	buy (new)	buy (old)	reinstallation
Ship decrease	None	sell	scrap	moor
Propulsion/Energy support Installation	None	Sail	Solar Panel Installation	
Change of Propulsion Method	None	Modularized Diesel Engine		
Change of Propeller	None	Long life span propeller	Short life span propeller	CPP

シミュレーション結果

- ✓ 油タンカーを対象に、貨物需要を変動させ、計算を実施
- ✓ 30年間（建造&運航）でのフリートのCO2排出量と費用の合計を正規化した値で評価

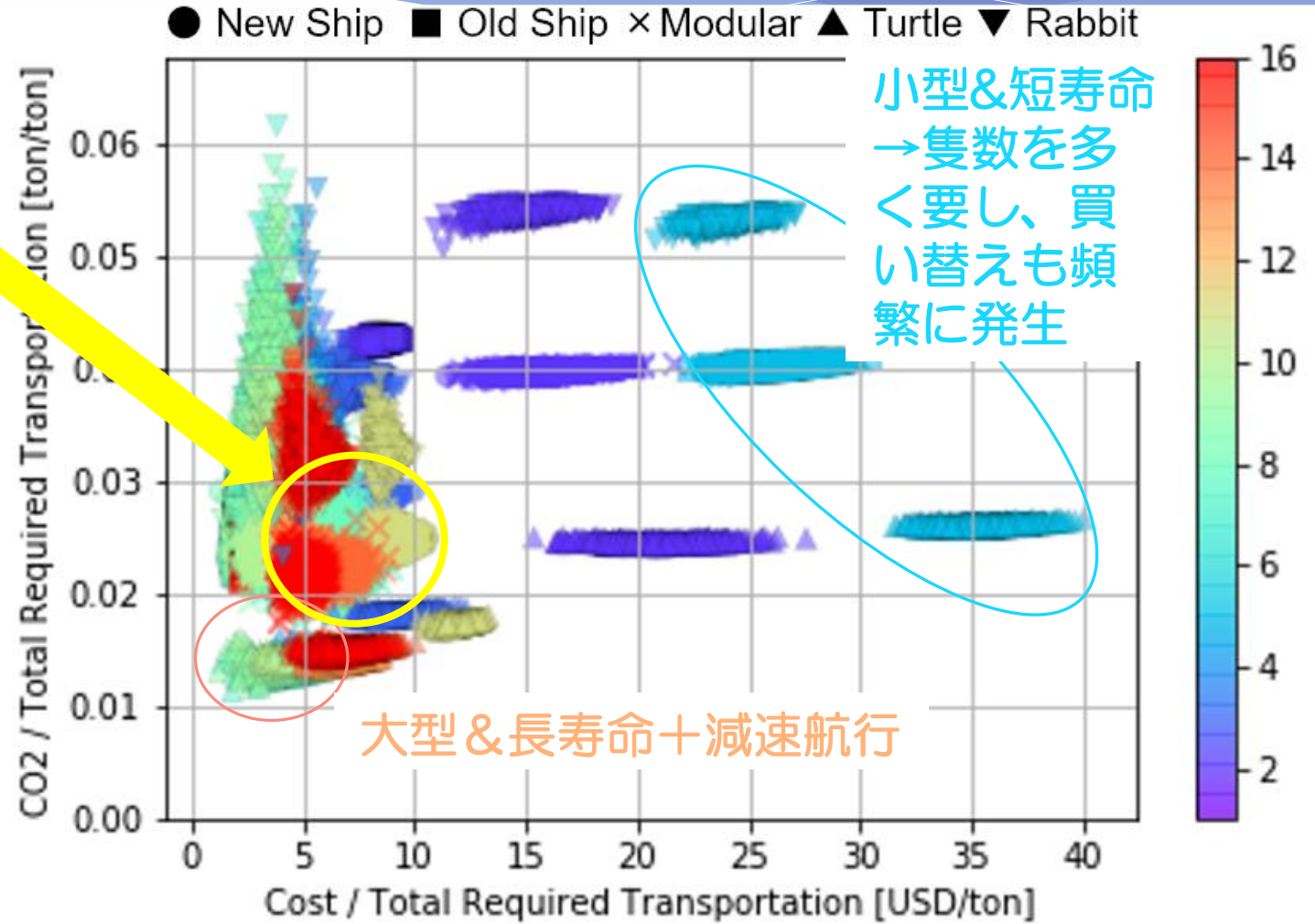
シミュレーション結果は定性的には妥当な結果を示している



シミュレーション結果

- ✓ 貨物需要変動に対し、貨物容積の増減で対応
- 貨物容積の増減を可能とする機能が低コスト化すればパレート解になる

意思決定に有益な知見を得ることが出来た



1. はじめに
2. システムズアプローチとは
3. システムズアプローチを用いた研究事例
4. 今後の予定
5. まとめ

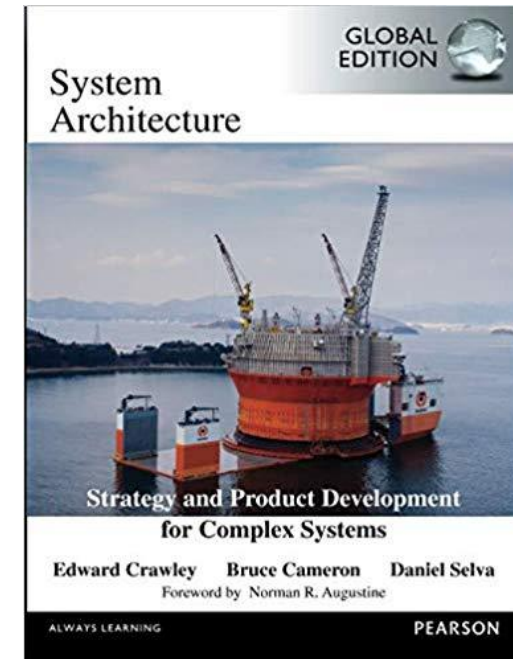
(1) 東京大学MIT産学連携人材育成プログラム（2017年10月～）

- ✓ 若手技術者を対象とした人材育成プログラム
- ✓ 目的：大規模かつ複雑なシステムの課題解決の方法論（システムズアプローチ）の習得と複雑な企業や社会システムが抱える問題を解決できる人材の育成
- ✓ 目標：グローバルな人材の育成及びコミュニティの形成。それによる組織と海事産業に創造力・革新力をもたらすこと
- ✓ プログラム概要：
 - 10月～2月：システムズアプローチ講義及び演習（週1回、英語）
 - 3月～5月：MIT滞在による短期での海事業界チーム研究プロジェクト

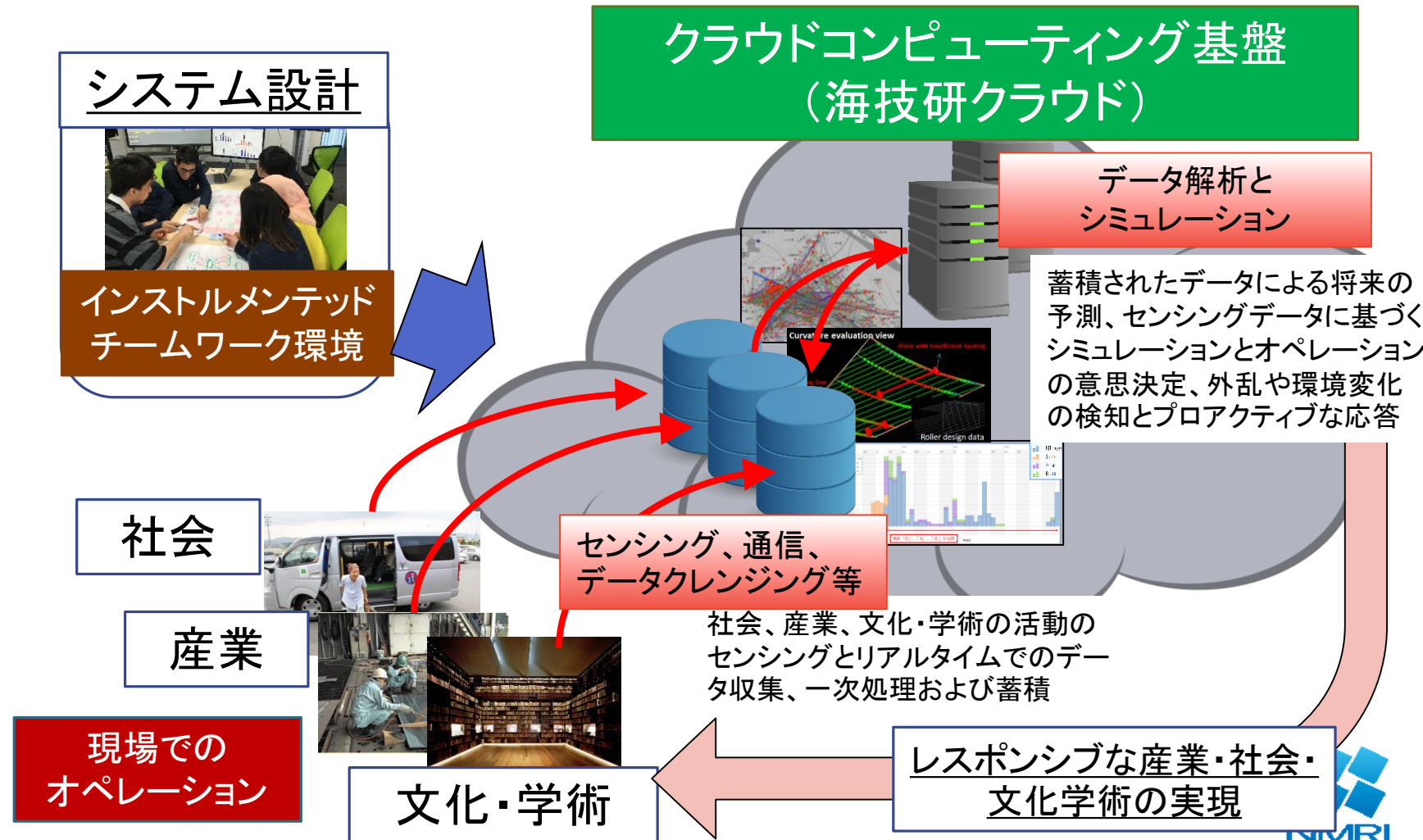
(参考) 稗方和夫、高橋裕：システム思考がモノ・コトづくりを変える デジタルトランスフォーメーションを成功に導く思考法、日経BP、2019.

(2) システムアーキテクチャ講義@東大（2020年4月～）

- ✓ 東大、MIT及び海技研が講師として日本語での講義を実施
- ✓ システムズアプローチの考え方に慣れるとともに、基礎の習得を目指す
- ✓ 科目等履修生の制度で社会人も受講可能
- ✓ 講義概要：
 - 開講場所：東大柏キャンパス環境棟
 - 開講時期：S1S2ターム（4-7月）
 - 講義数：全14回

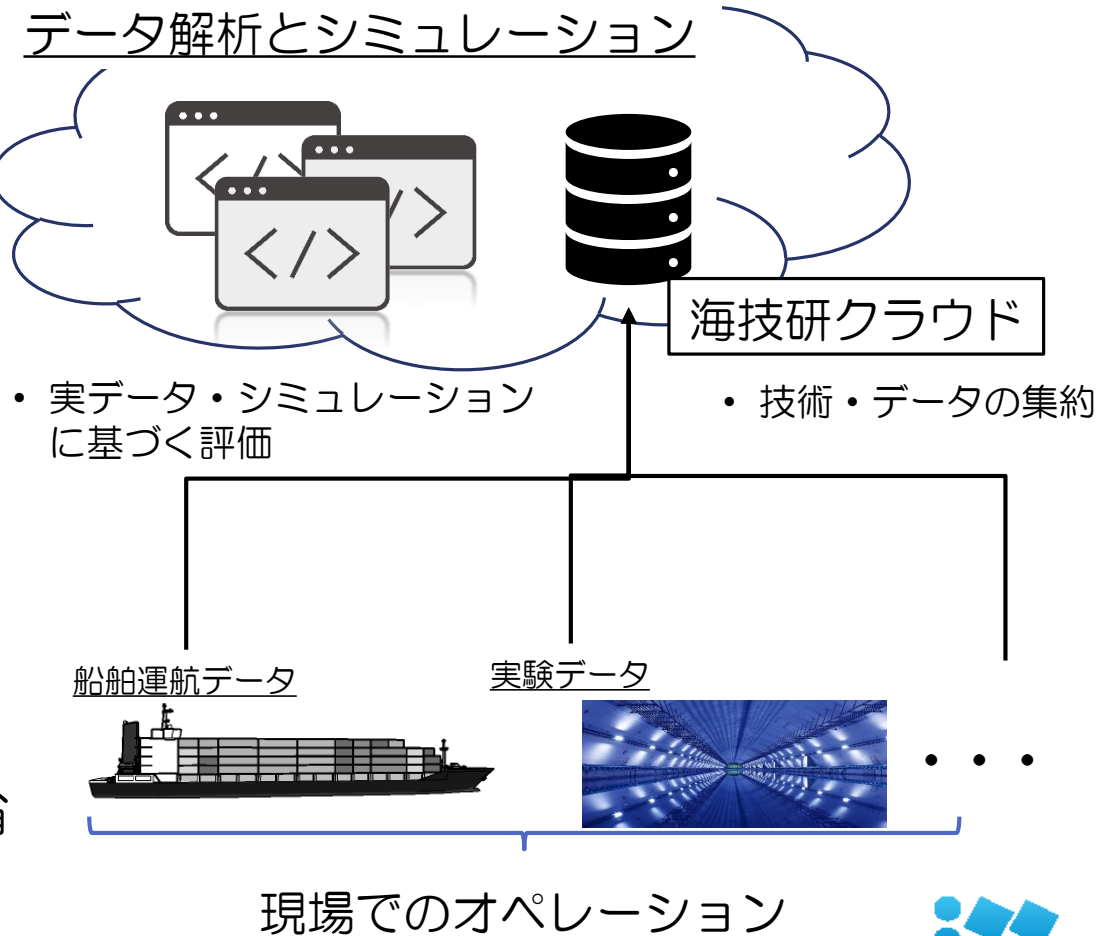


- ✓ 海事業界に適したシステムズアプローチ手法の改良・開発
- ✓ シミュレーション技術の開発
- ✓ チームワーク環境の整備
- ✓ 実問題への適用



4.3 オープンリサーチラボ

- 社会的ニーズと技術のハブ
- 利害関係者を巻き込む研究開発
- 利害関係が複雑な中での合理的な意思決定の支援



1. はじめに
2. システムズアプローチとは
3. システムズアプローチを用いた研究事例
4. 今後の予定
5. まとめ

- ✓ 意思決定支援手法であるシステムズアプローチについて紹介した
- ✓ 海事産業における研究事例を紹介し、システムズアプローチが意思決定支援に有効であることを示した
- ✓ システムズアプローチによる海事産業の意思決定支援に向けて、今後の教育及び研究の構想を紹介した

ご清聴有難うございました。

謝辞

本講演は東京大学MIT産学連携人材育成プログラムの成果の一部を含みます。関係各位に深く感謝申し上げます。