

# 海上輸送シミュレーション手法の研究

## - セメント物流を例として -

輸送高度化研究領域 物流システム研究グループ \*松倉 洋史、勝原光治郎  
久保 登、小林 充

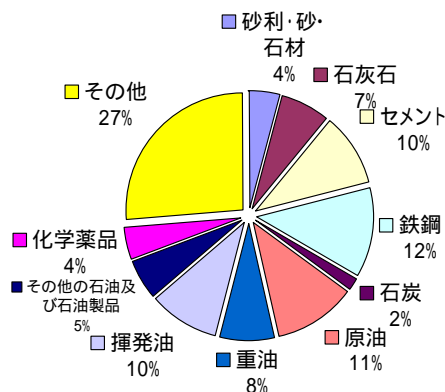
### 1. はじめに

内航海運及び関連業界は国内外との厳しい競争にさらされており、一層のコスト削減を強く求められている。しかし、物流過程では輸送手段・工場・貯蔵施設・消費者・その他の外部環境など、多様な要素が相互に影響し合うため、総合的かつ定量的な評価は難しく、合理化の障害となっている。近年、上記困難を解決可能なアプローチとして、物流シミュレーションが注目を集めている。物流シミュレーションはIT化の進展により現実的となったアプローチであり、コンピュータ上に物流システムの機能を忠実にモデル化して様々な検討を行うものである。

当研究グループでは内航物流の効率化に資するため、国内総合物流シミュレータの開発を行っている。本報告では、開発の第一段階として国内セメント海上輸送を対象にシミュレーションシステムを開発したので報告する。また、例題としてセメントタンカーのリブレース問題を取り上げ、モンテカルロ法を用いて新造船の必要速力を計算した。

### 2. セメント輸送システム

セメントは、石灰石・粘土・鉄さいからクリンカを経て製造される。コンクリートやモルタルの原料



内航海運輸送統計平成10年度より作成

図 - 1 内航輸送の内訳 (トンキロベース)

であり、産業の基礎資材である。図 - 1 に示すようにセメント輸送はトンキロベースでは内航海運の約10%を占めており、原料である石灰石と合わせ、内航海運の中で重要な位置を占めている。

まず、各種文献調査<sup>(1)(2)</sup>他・聞き取り調査等により、セメントの輸送システムについて調査を行った。その結果、シミュレーションとしてコンピュータ上に作成する海上輸送システムを図 - 2 のように設定した。セメント物流の各種設備を図 - 3 に示す。

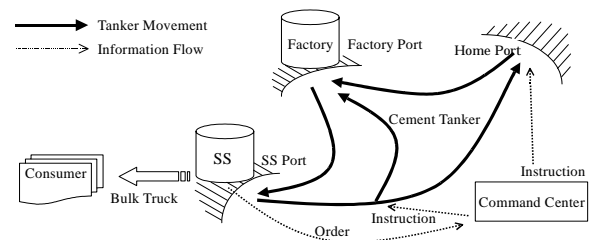


図 - 2 セメント海上輸送システム

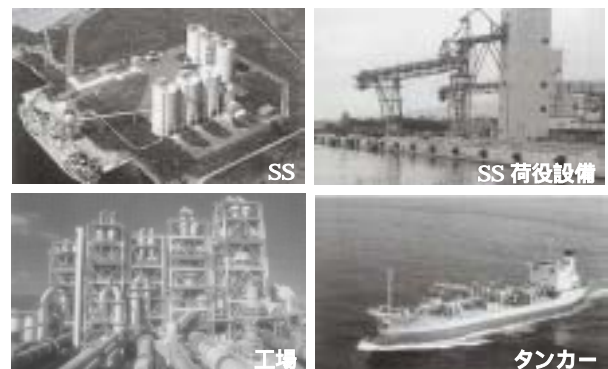


図 - 3 セメント物流の各種設備

消費者は中間貯蔵施設 (Service Station。以下、「SS」と略記) からパトラック等でセメントを購入する。SSは在庫が規定値以下になると配船センターにセメントの輸送を要請する。配船センターではSSから集まった輸送要請に基づいて、適切なSS・工場・セメントタンカー (以下、タンカーと略記) を組み合わせて配船計画を作成しタンカーに

通知する。タンカーはその指令を受け、最適な航路を選択して工場港に向かい、荷積みをして指示されたSSに航行ののち荷揚げし、終了後、特段の指示がなければ母港に戻る。荷揚げを終えたタンカーは配船センターによる配船の対象となる。

### 3. シミュレーションシステムの開発

シミュレーションシステムは、大きく分けてシミュレーションを担当する計算モジュールと、計算結果を表示する可視化モジュールとから構成される。

#### 3.1 計算モジュール

計算モジュールでは、タンカーデータやSSデータ等のデータファイル及びその他の設定ファイルを読み込んで1年間の輸送状況をシミュレーションする。計算の結果、稼働率等の各種指標の書き込まれた統計データファイルと輸送状況の時系列ログファイルが出力される。

##### 3.1.1 入出力データ

入力データは、SSデータ、工場データ、タンカーデータ<sup>(3)</sup>、ノードデータ、パスデータ等である。各SSの出荷量データは各種統計資料<sup>(4)(5)</sup>他とSSデータ、工場データ等を組み合わせることで推定した。

##### 3.1.2 タンカーの移動

シミュレーションでは、タンカーの移動を実現するために、SS港、工場港、及び主要な海上にノードを設定し、ノード相互をパスで繋いでネットワークを構成した。タンカーはこのノード・パスネットワーク上を移動する。タンカーはダイクストラ法により最短時間となる航路を選択するとした。計算に用いたネットワークを図-4に示す。

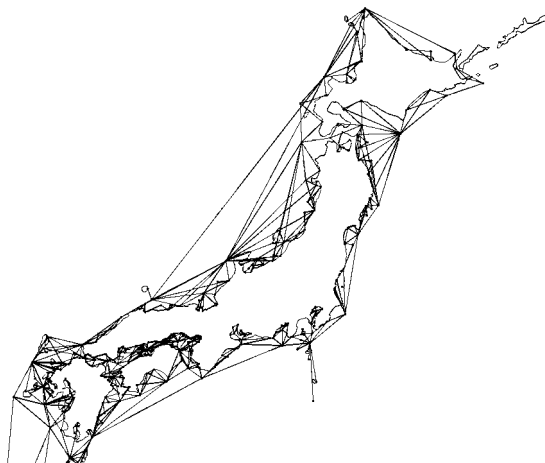


図-4 ノード・パスネットワーク

#### 3.1.3 配船アルゴリズム

タンカーはSSから直接輸送の要求を受けることはなく、配船センターの指示により、輸送活動を行う。配船センターで用いる配船アルゴリズムを以下のものとする。

SSの在庫量が、工場までタンカーが2往復する間にSSが消費する量以下になった時点で、SSは配船センターに新規の輸送を要請する。配船センターは、輸送要請のあったSSに最も適したタンカーを指令可能船舶の中から随時選択する。選択にあたり配船センターが考慮する内容は、以下の通りである。

タンクが在庫切れになる前に到着出来ること。

喫水制限、パース長制限、荷役方式等が適合すること。

積載量が必要量に最も適するもの。この際、指令を受けてからタンカーが工場へ到着し、荷役後再出港してSSに到着するまでの所要時間を推計し、その間に出荷されると予想されるセメントの消費量も考慮した上で評価を行う。

#### 3.1.4 モンテカルロ法の利用

1種類の初期状態からシミュレーションを行った結果からだけでは一般化可能な知見を得ることは難しい。ある初期条件に対して得られる結果はその初期状態によってのみ実現される特殊な結果である可能性があるからである。このような解の偏りを排除するため、モンテカルロ法を用い、初期状態をランダムに変えて多数回のシミュレーションを実施する。結果を集計して、ある状態が実現する確率を評価する。

### 3.2 可視化モジュール

計算モジュールにより出力される結果は多量の数値列であり、そのままでは結果を理解及び検証することは困難である。そこで、可視化モジュールによって出力されたログファイルを可視化する。可視化モジュールは、主表示機能を中心に、SS在庫、工場在庫、配船センター情報の各表示機能を持つ。開発した可視化機能の主なものを次に示す。

#### 3.2.1 主画面表示

主画面表示を図-5に示す。順方向再生及び逆方向再生、再生速度変更、任意時点からの再生、日本地図・ノードパスの表示/非表示、タンカー情報(ス

ステータス、出発地、到着地、積載量、積載容量等)、地図の拡大・縮小を行う機能を持つ。

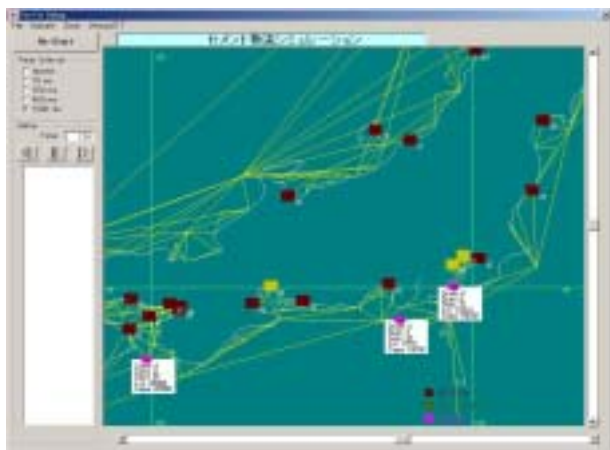


図 - 5 主画面表示

### 3.2.2 タンクレベル表示

SSのセメント在庫量(%表示、トン表示、在庫切れまでの日数表示)を表示する。表示例を図 - 6 に示す。配船センターに輸送要請をしたSSのグラフは色を変えて区別する。また、工場のセメント在庫量を表示する機能をもつ。

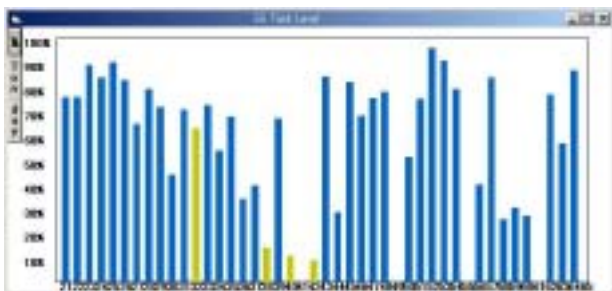


図 - 6 SSタンクレベル表示

### 3.2.3 配船センター状況表示

稼働中のタンカーの各種情報(タンカー番号、目的地SS、積載量、積載容量、ステータス、緯度・経度等)を表示する。配船センター状況表示の画面例を図 - 7 に示す。

船番号	目的地	積載量	積載容量	ステータス	緯度	経度
1001	東京	1000	1200	稼働中	35.68	139.76
1002	大阪	800	1000	待機中	34.68	135.76
1003	名古屋	600	800	稼働中	35.18	136.96
1004	横浜	900	1100	待機中	35.45	139.63
1005	神戸	700	900	稼働中	34.96	135.10
1006	福岡	500	700	待機中	33.59	130.40
1007	仙台	400	600	稼働中	38.26	140.88
1008	札幌	300	500	待機中	43.06	141.35
1009	旭川	200	400	稼働中	43.77	142.36
1010	網走	100	300	待機中	42.13	142.52

図 - 7 配船センター状況表示

## 4. 例題：セメントタンカーリブレース

セメントタンカーはリブレースが進むと大型化する傾向がある。ここでは例題としてタンカーのリブレース問題を取り上げる。

ただし、セメント製造・販売会社ではポルトランドセメント・高炉セメント・フライアッシュセメント等多くのセメント製品を取り扱うが、簡単化のため、それらを1種類とみなして取り扱う。

### 4.1 最低限必要なタンカー船隊

まず必要なセメント輸送船隊を求める。実際に用いられているセメントタンカー船隊を用いないのは、セメントの種類を1種類と仮定したために、必要なタンカー隻数が実船隊より少ないと予想されるからである。

運用しているタンカー全隻を用いて1年分のシミュレーションを行う。タンカーの初期配置及び工場・SSの初期在庫をランダムに変化させてモンテカルロシミュレーションを行い、平均稼働率の低い船から順次削除していく。そして、1年間輸送活動を滞りなく行える下限のタンカー船隊を求める。ただし、浅喫水域用のタンカーは、稼働率の高低に関わらず、必ず残すものとする。

計算結果を図 - 8 に示す。タンカー隻数が11隻を超えると急激にシミュレーション成功確率が上がっていることが分かる。どの程度の成功確率ならば十分輸送を遂行できると判定すべきかについては明確な基準は無い。ここでは、97%を基準に用いることとする。

図 - 9 から、条件を満たすタンカー船隊は15隻以上であることが分かる。そのため、15隻をリブレース前の運航船隊とする。

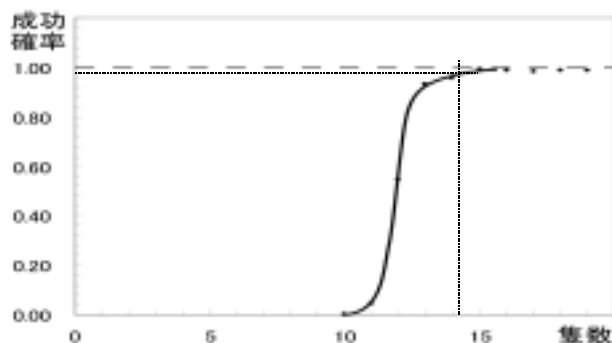


図 - 8 タンカー隻数 - 成功確率

#### 4.2 リプレース対象船の選択

15隻の中から比較的船齢の古い中型のタンカー2隻を大型のタンカー1隻にリプレースすることを考える。リプレース対象船の主な仕様を表-1に示す。

表-1 リプレース対象船

	総トン数	積載トン数	航海速力(ノット)	就航年
A船	3107	4100	14.0	1978
B船	4528	6000	14.0	1979

リプレース後のタンカーの積載トン数を、リプレース前のタンカー2隻の合計とほぼ同じ値である10000トンに固定し、必要な速力を求める。

#### 4.3 シミュレーションの実施

4.1で求めた15隻のタンカーデータから、リプレース対象となっている2隻のデータを削除し、積載量10000トンの大型タンカーのデータに置き換える。速度を0.5ノット刻みで変化させながら、タンカーの初期配置及び工場・SSの初期在庫をランダムに変化させてモンテカルロ法によりシミュレーションを行う。

#### 4.4 必要速力

4.3により求めた計算結果を図-9に示す。

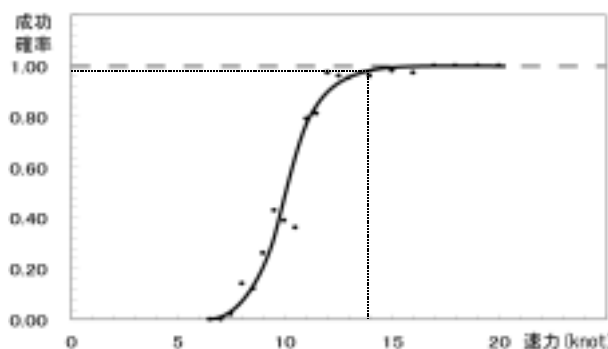


図-9 タンカー速力 - 成功確率

4.1と同様に成功確率97%という基準を用いると、速力が14ノット以上あれば、配船はほぼ滞りなく行われることが分かる。これはリプレース対象船の速力と同等の値である。

今回の設定の下では2隻の中型タンカーを1隻へと大型化した場合、同程度の速力で配船は滞りなく行われた。この解析のケースでは、配船面からはタンカーの大型化が障害となっていないことを示している。これは、SS - 工場間を運航する間にSSのレ

ベルが過小にならない程度にSSの容量が大きいためと考える。

#### 5. まとめ

内航総合物流シミュレーションシステムを開発する第一段階として、セメント海上輸送を対象に、シミュレーションシステムを開発した。また、例題としてセメントタンカーのリプレース問題を取り上げ、中型船2隻を新造船1隻にリプレースする際の、新造船の必要設計速力を求めた。

今後は、扱える製品種類を複数にする、配船アルゴリズムを改良する、他の輸送品目（鉄鋼、原油等）もシミュレーション出来るようにする等、システムを精緻化すると共に対象を拡大し、更に現実の輸送に近づける予定である。また、多様な課題を解くことで、様々な課題の解析手法を整備していきたいと考えている。

#### 謝辞

本研究を進めるに当たり、宇部興産株式会社殿には多大なるご協力を頂いた。記してここに謝意を表す。

#### 参考文献

- (1) セメント新聞編集部, セメント産業年報アプローチ, 第32集, 1998, 株式会社セメント新聞社
- (2) セメント新聞編集部編, 1998セメント年鑑, 第50巻, 1998, 株式会社セメント新聞社
- (3) 日本船舶明細書, 1994, 社団法人日本海運集会所
- (4) 運輸省運輸政策局, 港湾統計(年報), 1997
- (5) 運輸省運輸政策局, 内航船舶輸送統計年報, 1998
- (6) 勝原他, 国内マクロ物流の海上輸送シミュレーション, 第74回船舶技術研究所研究発表会講演集, 2000, pp 133-136