

洋上石油資源開発プロジェクトへのロジスティックハブ導入についての 経済性評価に関する研究

2015年3月修了 人間環境学専攻
47136704 河野 裕
指導教員 大和 裕幸 教授

In this paper, design method for logistics hubs is described with models for development projects, transportation and logistics hubs. Moreover, a support system for decision making on logistics hubs is developed. In case studies, proposed method is applied to revealing economic characteristics of logistics hubs. Results show that introduction of logistics hubs can reduce total transportation cost and is useful for areas where projects are densely located.

Key words: Logistics hub, Decision making, Uncertainty, Offshore resource development

1 緒言

IEA (International Energy Agency) によると、世界における海洋資源開発は増え続けるとの予測が出ている。ブラジルにおいても、新たな石油資源開発の対象として、沿岸から 200~300km 程度の超大深水と呼ばれる海域の鉱区の開発が開始されている。より陸地から遠いプラットフォームに向けた新たな輸送方式として、ロジスティックハブの導入が考えられている。

ロジスティックハブは海洋構造物であり、プラットフォームと陸上基地の間に設けられ輸送の中継基地として活用されることが想定されている。しかし、新しい構造物であるため、その仕様の決定や経済性の評価に関する手法はまだ確立されていない。また、資源開発特有の不確実性が存在し、評価において少なからず影響を与えることが予想される。

資源開発の不確実性については Marco¹⁾や Morten²⁾によって取り扱いが提案されている。また、資源開発プロジェクトのモデル化については Jijun³⁾によるモデルが存在する。海上プラットフォームに関連する輸送設計については例えば Menezes ら⁴⁾、Yan ら⁵⁾によって、日々の輸送設計の最適化から長期的な戦略決定に至るまで、対象に応じたモデルと最適化を提案している。しかし、ロジスティックハブについて扱った研究は行われていない。

そこで、本研究の目的を洋上石油資源開発におけるロジスティックハブ導入の経済価値を評価する手法の提案に定める。必要なモデルを構築・導入し、割引率を考慮した輸送コストの計算を行う。ケーススタディでは提案手法を用い、ロジスティックハブの経済的性質について検討する。

2 提案手法

2.1 はじめに

本研究で想定する意思決定プロセスを Fig. 1 に示す。資源開発を行う会社（以下、意思決定者とする）がある段階において今後の経営計画を定める状況を想定する。その際、意思決定者はまず現在の情報を収集する。

次に、意思決定者は将来の予測を行う。すなわち、収集した現在の情報を元に、将来の生産計画、市場環境の変動、開発する貯留槽の情報精度の変化などを緻密に予測する。

ロジスティックハブの導入を検討する場合は、この段階で導入による経済効果を計算し、ロジスティックハブの設計などとともに導入計画を定めると考えられる。

この段階を、本研究の対象とする。すなわち、ある程度

の不確実性を含みながらも将来の開発計画が定められており、将来の生産量なども一定の予想が可能である、という状態を想定している。

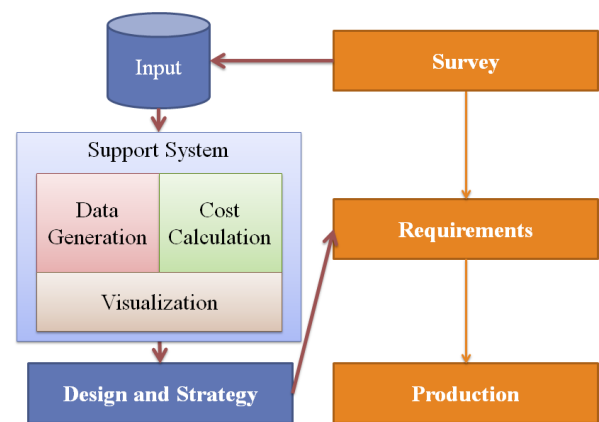


Fig. 1 Assumed Decision Making Process

2.2 概要

本研究では、洋上石油資源開発プロジェクトにおけるロジスティックハブ導入の経済価値を評価する手法を提案する。Fig. 2 には、検討すべき 2 つの輸送形態を示す。

ロジスティックハブを導入していない場合、すなわち従来の輸送方式が図の左部に示されている。陸上に存在する基地と海上に存在する資源開発のプラットフォームの間を、ヘリコプターによるシャトル輸送によって結んでいる。一方、ロジスティックハブを導入した場合の輸送方式は図の右部となる。陸上基地とプラットフォームの間にロジスティックハブを位置させ、陸上基地とロジスティックハブの間を HSV による大量輸送、そしてロジスティックハブとプラットフォームの間をヘリコプターによるシャトル輸送で結ぶ方式となる。

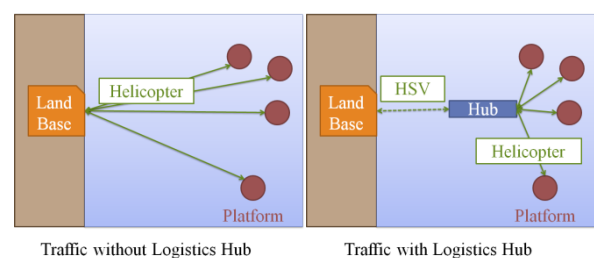


Fig. 2 Two Transportation modes

提案手法においてはこの 2 つの形態における輸送コストを計算し、ロジスティックハブを導入する場合はそのコストを最小化するロジスティックハブの配置計画を求める。これをロジスティックハブのストラテジーと呼ぶ。加えて、その配置を実現するために必要なロジスティックハブの設計要件や、輸送機（ヘリコプター・HSV）の数、輸送コストなどを出力する。これらをロジスティックハブのデザインと呼ぶこととする。

2.3 最適化問題の定式化

提案手法では、ロジスティックハブを導入した場合の輸送コストに関する最適化を行う。式(1)のとおり、合計輸送コストを目的関数とし、各時刻において以降の輸送コストを最小化する配置を算出する。

$$\min_{x(T),y(T)} C_{total} = \min_{x(T),y(T)} \sum_{t=T}^{Dur} (cost_{hsv} + cost_{hub} + cost_{hel}) \times \left(\frac{1}{1+r}\right)^t \quad (1)$$

ここで、 $x(t), y(t)$ を時刻 t におけるロジスティックハブの座標、 C_{total} 輸送全体に掛かるコスト、 $cost_a$ は a に関する合計コスト、 r は単位時間あたりの割引率、 Dur は計算期間とする。単位時間は 1 週間とする。

2.4 必要なモデル

式(1)のコストを計算するためには、輸送人員数算出のためのプロジェクトの生産モデル、輸送コスト算出のための HSV およびヘリコプターのコストモデル、また市場環境の不確実性を再現するためのシナリオモデル等が必要となる。

2.4.1 プロジェクトモデル

2.4.1.(a) 生産量及び作業人員

プロジェクトは油田ごとに設定され、各油田に対して複数の生産井が設置される。プロジェクトは主に「探鉱」「開発」「生産」のフェーズに分けられ、それぞれの時期に応じた投資が行われる。

原油の生産は「生産」フェーズに開始され、式(2)(3)(4)によって原油生産量が定められる。

$$Q_{max,t} = \min\{N_t \tilde{Q}_{w,t}, Q_{p,t}, Q_{r,t}\} \quad (2)$$

$$Q_{r,t} = N_t Q_{w,t} \frac{R_t}{R_0} \quad (3)$$

$$\tilde{Q}_{w,t} = \gamma Q_{w,t} \quad (\gamma \leq 1) \quad (4)$$

ここで、時刻 t において、 $Q_{max,t}$ は単位時間あたり最大生産量、 N_t は生産井数、 $Q_{p,t}$ はプラットフォームの生産許容量、 $Q_{r,t}$ は 0 次元モデルによって導出された油田の最大消費量、 $Q_{w,t}$ は生産井 1 本あたり理論最大産出量、 R_t は時刻 t における貯留槽の残量、 $\tilde{Q}_{w,t}$ は生産井 1 本あたり産出量を意味する。また、 γ は生産井の生産効率を表す。

必要作業人員は最低作業人員と追加作業人員の和で表される。追加作業人員は原油生産量に比例して投入されるとする。

2.4.1.(b) 生産の中止及び再開

プロジェクトの開始時期は予め計画によって定められているが、中止及び再開はプロジェクトごとの原価率によって定められるとする。

2.4.2 輸送コストモデル

輸送コストは、輸送にかかる燃料コスト、輸送に用いている乗り物の数に比例するリースコスト、および発着回数

に比例する港湾やヘリポートの使用料の合計で表されるとする。

2.4.3 シナリオモデル

シナリオには原油および燃料価格が含まれ、式(5)で表される Gaussian / Wiener プロセスを用いて生成するデータを用いる。 r はドリフト率、 σ はボラティリティを示す。また、輸送手段の燃料であるケロシン及び C 重油の価格は原油価格と比例するものとする。

$$\frac{dS(t)}{S(t)} = rdt + \sigma dz \quad (5)$$

2.4.4 ロジスティックハブモデル

2.4.3.(a) コスト

ロジスティックハブに関しては、現状では未知の情報が多く、具体的な設計に落とし込むのはいささか困難を伴う。そこで、ロジスティックハブに関しては既存の構造物を参考に推測が可能と考えられる係留コスト及び燃料消費量のみをモデルの情報として保持する。製造コスト、運用コストなどはロジスティックハブの設計に依存する変数として捉え、今回はモデルには含めない。式(6)によってハブに掛かるコストを算出する。なお、時刻 t において $P_{oil,c}(t)$ は C 重油の価格、 D_{move} はロジスティックハブの移動距離、 FC_{hub} は燃料消費量を表す。

$$C_{hub} = \sum_{move} (P_{oil,c}(t) \times FC_{hub} \times D_{move}(t) + C_{hub,moor}) \quad (6)$$

2.4.3.(b) 移動アルゴリズム

ロジスティックハブの移動の決定を行うアルゴリズムを Fig. 3 に示した。

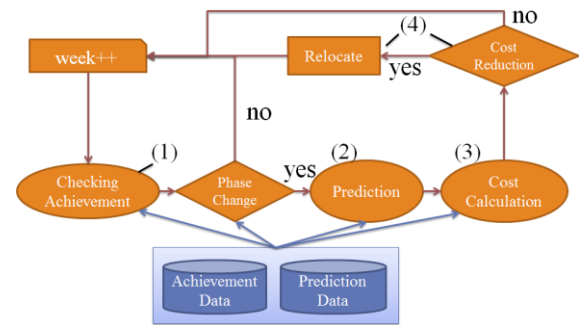


Fig. 3 Algorithm for Logistics Hub Relocation

(1) フェーズ変化の検出

各週においてプロジェクトのフェーズが変化したかどうかを検出する。もしフェーズの変化がなければハブを移動させず、次の週へと移る。それ以外の場合、すなわちフェーズの変化があった場合には、(2)の実績の予測へと移行する。

(2) 実績の予測

その週における各実績データから、その週以降の実績データの予測を行う。予測においてはシナリオの値を全て一定とする、

(3) 輸送コスト最適化

予測データを元に、輸送コストが最小となるハブの移動先を算出する。

(4)移動の可否

ハブを移動した場合のコストがハブを移動していない場合のコストを下回る場合、ハブの位置を更新する。そうでない場合はハブを移動しない。

2.5 開発したシステム

提案手法で用いるシステムの概要図を Fig. 4 に示す。開発したシステムは6つの段階で構成される

(1)入力データの準備

入力としてプロジェクト設定及びシミュレーション設定の2つの設定情報を用意する。プロジェクト設定には、位置情報や貯留槽の情報、設備などプロジェクトに関する情報がCSV形式で記述されている。また、シミュレーション設定には、原油価格生成に用いるドリフト率や各輸送手段の燃料消費量、輸送容量など、シミュレーションを行う際に必要な情報がini形式で記述されている。

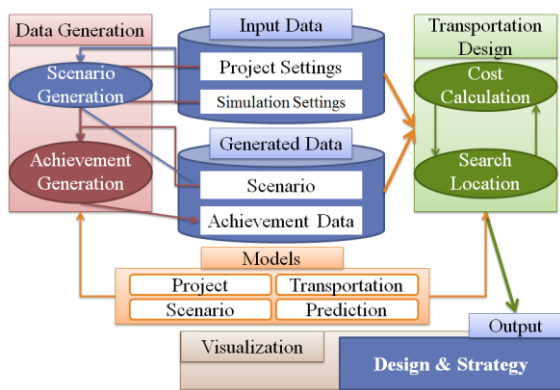


Fig. 4 Developed Support System

(2)データ生成機能 (シナリオ生成)

シミュレーション設定の情報を元に、シナリオを生成する。シナリオの生成には原油価格のドリフト率や分散を用いた原油価格の変動を生成する。

(3)データ生成機能 (実績データ生成)

シミュレーション設定、プロジェクト設定の情報及びシナリオを元に、プロジェクト実績データを生成する。

(4)入力データへの保存

シナリオ及び各シナリオに対応するプロジェクト実績データをデータベースへ保存する。

(5)輸送デザイン機能

入力データ及び生成されたデータを元に、コストを最小にするロジスティックハブの配置を求める。

(6)可視化機能

出力データの可視化を行い、デザイン及びストラテジーを視覚的に把握することで意思決定の支援を行う。

3 ケーススタディ

3.1 単純なモデルによるデータ確認

3.1.1 概要

3つのプロジェクトからなる単純なケースについて提案手法によるシミュレーションを行い、開発したシステムの出力を確認する。ロジスティックハブを導入しなかった場合、導入して固定した場合、導入して移動可能とした場合の3つのケースについて、1つのシナリオを用いて比較する。

3.1.2 結果

3.1.2.(a) 原油価格とプロジェクトの状況

Fig. 5 には生成された原油価格とプロジェクトの状況を示す。青の線で表されているプロジェクトの中断及び再生産は、紫の線で表される原油価格の大きな変化とほぼ同時であることが分かる。

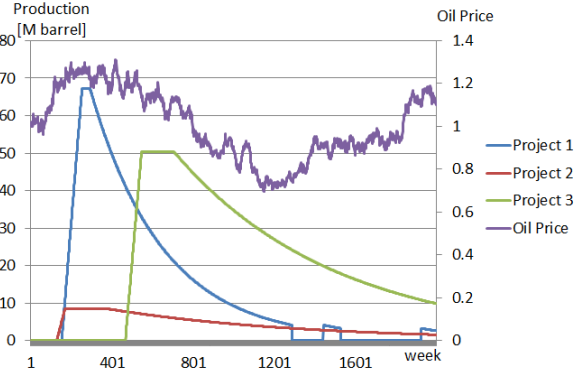


Fig. 5 Oil Price and Production of Projects

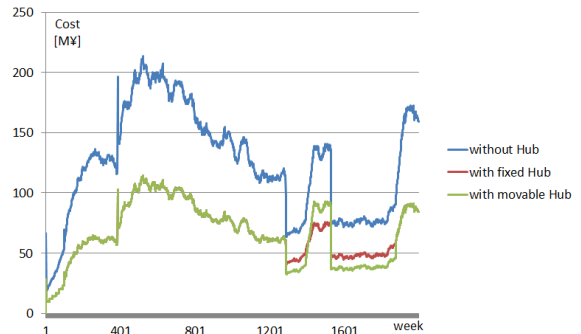


Fig. 6 Transportation Cost in 3 Cases

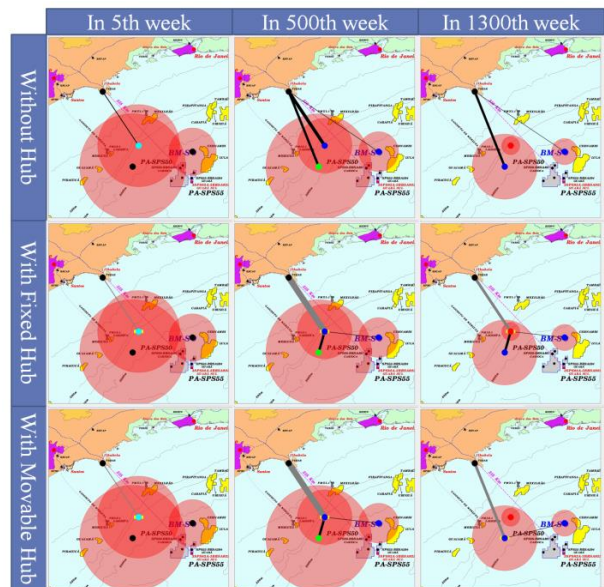


Fig. 7 Transportation Mode in 3 Cases

Fig. 6 に、各ケースにおいて輸送コストを示す。プロジェクトの中断や再生産に合わせ、大きく変化している様子が見られる。また、ハブを導入することでコストの変化の

幅や総額が削減されていることが分かる。

Fig. 7には、各ケースの各時点における輸送状況を示した。黒の点は陸上基地及び開発前のプロジェクト、緑の点は建設中、青の点は生産中、赤の点は中断したプロジェクトを示す。黄の長方形はロジスティックハブの位置、半透明の赤の円はプロジェクトの貯留槽の残量を示す。さらに、黒の線はヘリコプターによる輸送、灰の線はHSVによる輸送であり、太さは輸送量を表す。ロジスティックハブが移動可能である場合は、プロジェクトの状況に応じてハブの位置が変化している様子が確認できる。

3.2 経済的性質の検証

3.2.1 概要

本項では、提案手法によって出力されるデザイン及びストラテジーを元に、ロジスティックハブに関する経済的性質を明らかにする。モンテカルロ・シミュレーションによって原油価格の多数のシナリオの生成を行い、不確実性のもとでロジスティックハブの導入が輸送コストに与える影響を平均値・分散などによって確認する。

3.2.2 結果及び考察

ロジスティックハブを導入していない場合、導入して固定した場合、導入した上で移動可能とする場合の輸送コストの度数分布を Fig. 8 に示す。

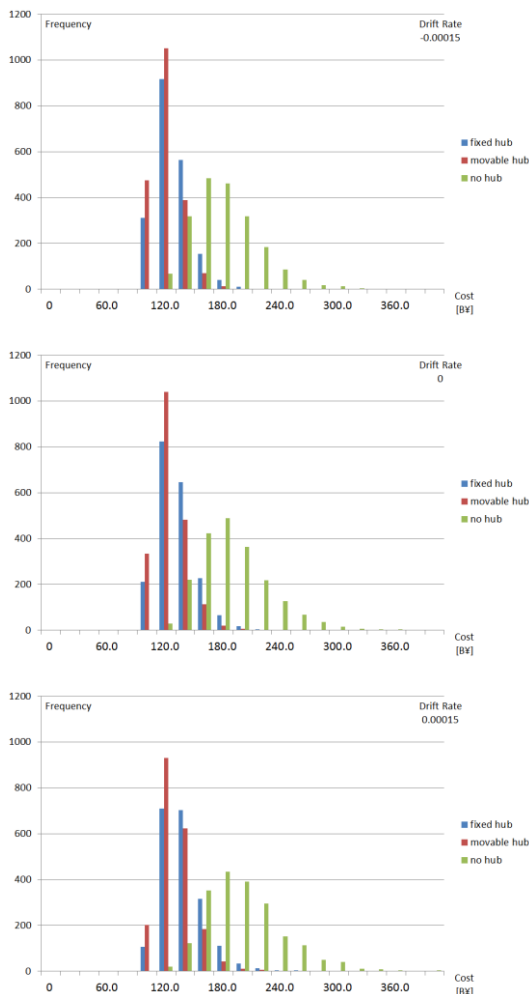


Fig. 8 Distribution in 3 Cases and 3 Drift Rates

縦軸は頻度、横軸は 1,040 週間の輸送コストの合計を表

しており、青のグラフがロジスティックハブを固定した場合、赤のグラフがロジスティックハブを移動可能とした場合、緑のグラフがロジスティックハブを導入しない場合の輸送コストの分布を表している。ロジスティックハブを導入した場合は、固定か移動可能かに拘らず、ロジスティックハブを導入していない場合と比べて分散及び平均が抑えられていることが読み取れる。

Table 1 Average and Deviation in 3 Cases [M¥]

		Fixed Hub	Movable Hub	Without Hubs
Drift rate: 0.00015	Avg.	128,119	119,612	190,043
	SD	22,041	17,712	41,549
Drift rate: 0	Avg.	122,047	114,707	178,614
	SD	19,683	15,888	37,137
Drift rate: -0.00015	Avg.	117,456	111,014	169,965
	SD	18,275	14,766	34,488

平均及び分散を計算した結果を Table 1 に示す。ロジスティックハブを導入することで、合計の輸送コストの削減が可能となるだけでなく、その変動の幅も抑制されていることがわかる。また、原油価格が下降傾向にある場合は上昇傾向・中立の場合と比べ、削減されるコスト幅が減少することが読み取れる。

4 結論

本研究では、資源開発プロジェクトへのロジスティックハブの導入に関する経済性評価手法を提案した。提案手法を用いることで、ロジスティックハブ導入の検討において必要となる経済的な性質が明らかになった。

ケーススタディでは、ロジスティックハブの経済的な性質について、モンテカルロ・シミュレーションを用いて評価を行った。その結果、ロジスティックハブの導入によって、資源開発プロジェクトでの人員輸送コストを削減し、経済的不確実性がもたらす輸送コストの振動が抑えられることが判明した。

文献

- 1) Marco Antonio Guimaraes Dias : "Valuation of exploration and production assets: an overview of real options models," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 44(1-2), 93-114 (2004).
- 2) Morten W. Lund : "Valuing Flexibility in Offshore Petroleum Projects," *Annals of Operations Research*, 99(1-4), 325-349 (2000).
- 3) Jijun Lin : "Exploring Flexible Strategies in Engineering Systems Using Screening Models Applications to Offshore Petroleum Projects," Massachusetts Institute of Technology (2008).
- 4) Menezes Fernanda et al. : "Optimizing helicopter transport of oil rig crews at Petrobras," *Interfaces*, 40(5), 408-416 (2010).
- 5) Yan Shangyao and Tu Yu-Ping : "A network model for airline cabin crew scheduling," *European Journal of Operational Research*, 140(3), 531-540 (2002).