

フェリーの輸送能力を考慮した鉄道貨物輸送の代替経路探索モデルの構築*

Build Path Search Model for Rail Freight Transportation Considering Transport Capacity*

日野 智**、岸 滋***、岸 邦宏****、浅見 均*****、佐藤馨一*****
 Satoru HINO**, Shigeru KISHI***, Kunihiro KISHI****, Hitoshi ASAMI*****, Keiichi SATOH*****

1. はじめに

近年、北海道～本州間の鉄道輸送において、災害や事故に伴う不通が相次いで発生している。鉄道不通は旅客だけではなく、物流にも大きな影響を及ぼす。北海道～本州間において鉄道貨物輸送は約10%のシェアを占めており、農水産品や生活に関連した雑貨品輸送に大きな役割を果たしている。そのため、鉄道不通は経済、社会生活に深刻な影響を及ぼしている。

災害・事故が発生するたびに JR 貨物は輸送経路を変更して、影響が最小限となるよう努めてきた。しかし、通常時と同様の輸送能力を確保することは困難である。2000(平成12)年3月の有珠山噴火時、JR 貨物は①トラックによる代行輸送、②迂回列車による輸送、③船舶による代行輸送を行ったが、その輸送量は通常の約70%にとどまった。さらに、トラック・船舶等の代替機関による輸送は所要時間を増加させ、速達性という鉄道貨物輸送の長所を喪失させている。

本研究は鉄道不通時の代替経路を探索するモデル構築を目的とする。本研究のモデルは各輸送機関の運行時刻を考慮していることが特色である。さらに、構築したモデルを現実が発生した鉄道貨物列車脱線事故へと適用し、モデルの有効性を検証すると同時に、代替経路の確保方策について考察したものである。

2. 代替経路探索モデルの構築

(1) Dijkstra 法による代替経路の探索

本研究では最短経路を探索するモデルを構築した。基本モデルとして、ネットワーク上のある始点ノードから各ノードへの最短抵抗を求める Dijkstra(ダイクストラ)法を用いた。すなわち、ネットワーク上のあるノードの周辺から各ノードへの最短経路を確定し、徐々に範囲を広げて全てのノードへの最短経路を求めるものである。以下に、Dijkstra 法の手順を示す(図1)。

- ① 始点(ノード A)に接続される全てのリンクを抽出し、それを抽出リンクとする
- ② 抽出リンクで抵抗最小となる経路 A→B がノード B までの最短経路として確定される
- ③ ノード B に接続される全てのリンクを抽出リンクに追加し、抽出リンクで抵抗最小となる経路 A→D がノード D までの最短経路として確定
- ④ ノード D に接続される全てのリンクを抽出リンクに追加し、抽出リンクで抵抗最小となる経路 A→B→E がノード E までの最短経路として確定
- ⑤ 以降、全てのノードについて最短経路が確定するまで順次繰り返す

本モデルでは交通抵抗を所要時間とし、それを最短とする経路を探索することで各ノードからの代替経路を求めた。

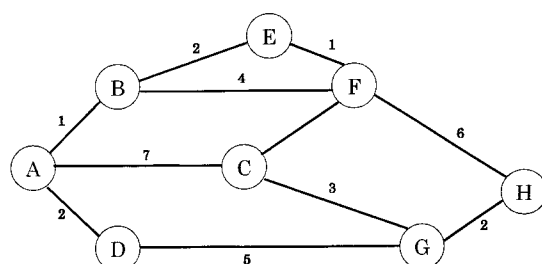


図1 Dijkstra法におけるネットワークの概念図

*キーワード: 物資流動、鉄道計画、代替輸送

**学生会員、修(工)、北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
 (札幌市北区北13条西8丁目、TEL 011-706-6822、FAX 011-706-6822)

***正会員、修(工)、東日本旅客鉄道(株)

(東京都渋谷区代々木2丁目2-6)

****正会員、博(工)、北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
 (札幌市北区北13条西8丁目、TEL 011-706-6216、FAX 011-706-6216)

*****正会員、工修、日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局

(長野市大字中御所字岡田45-1、TEL 026-223-9638、FAX 026-223-9681)

*****フェロー、工博、北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
 (札幌市北区北13条西8丁目、TEL 011-706-6209、FAX 011-706-6216)

(2) 代替経路探索モデルにおける時刻の表現

代替経路の選択は輸送機関の運行時刻や頻度の影響を受ける。そこで、本研究では構築する代替経路探索モデルにおいて時刻を考慮した。基準時刻と対象列車の時刻・位置情報、輸送機関の各ノードからの発着時刻をモデルに入力することで、各代替機関との接続時に発生する待ち時間が求められる。それらによって全てのリンク間の所要時間を確定させ、最短経路を探索することで対象列車の代替経路を求める(図2)。すなわち、基準時刻の設定から対象列車の各フェリーターミナルへの到着時刻が t_a, t_b, t_c と確定される。また、フェリー出発時刻の基準時刻に対する経過時間は t_1, t_2, t_3 として求められ、接続に伴う待ち時間は $t_1-t_a, t_2-t_b, t_3-t_c$ として求められる(図3)。

代替経路は各輸送機関の輸送能力によっても制限を受ける。本モデルでは経路探索後にフェリーの輸送能力を確認し、輸送不可能または貨物の一部のみが輸送可能な場合はそのリンクを除いたネットワークで再度、経路を探索した。

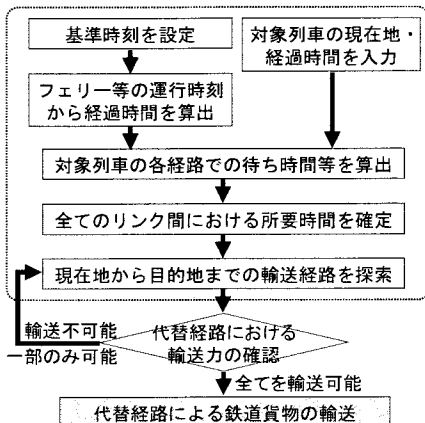


図2 時刻を考慮した代替経路探索のフロー

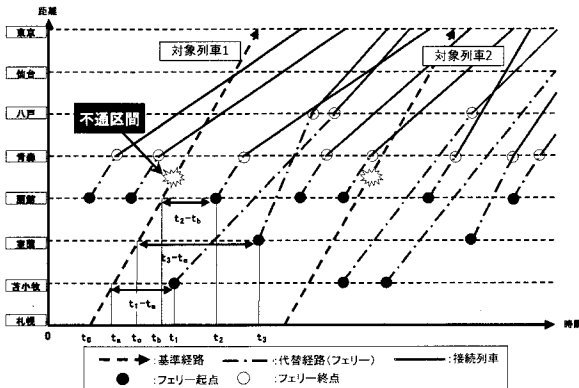


図3 ダイアグラムによる代替経路探索の表現

3. 貨物列車脱線事故へのモデル適用

(1) 津軽海峡線貨物列車脱線事故の概要

2000(平成12)年12月6日、津軽海峡線津軽今別駅において、貨物列車の脱線事故が発生した。事故は6日19時頃に発生し、運行再開は下り線が7日3時24分、上り線が8日15時36分であった。そのため、上り線で33本・下り線で14本の貨物列車が途中で停車または運休となった。

上り線では不通期間が長く続いたため、事故の翌々日まで列車が不通となった。一方、下り線は比較的早期に開通したために途中停車した列車を最寄り駅で待機させる対応もとられたが、待機時間は最長で48時間に達した。

(2) モデル適用における仮定条件

貨物列車の運行本数や貨物輸送量を考慮し、札幌～東京・大阪間における貨物輸送ネットワークを設定した(図4)。代替経路は、①鉄道による迂回輸送、②トラックによる代行輸送+鉄道輸送、③フェリーによる代行輸送+鉄道輸送を想定し、船舶のチャーター等については検討していない。

鉄道の所要時間は、時刻表¹⁾からリンク間の所要時間を算出した。列車によって所要時間は異なるため、利用率が高い列車を代表的なものと考えている。フェリーの所要時間についても時刻表から、トラッ

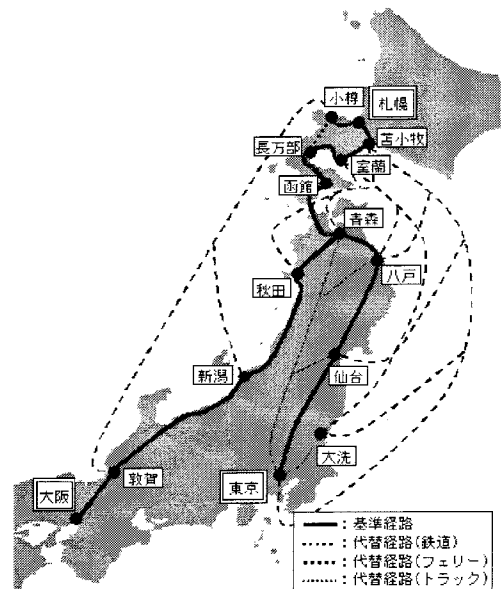


図4 本研究における対象ネットワーク図

表 1 フェリー航路のトラック輸送能力と輸送実績²⁾

	トラック 輸送能力	トラック 輸送台数	トラック 搭載率
海峡航路	327,405	297,200	90.7%
中・長距離航路	1,832,665	824,800	45.0%

表 2 各航路における輸送可能なトラック台数

航路	航送台数 (台/便)	トラック 搭載率	輸送可能数 (台/便)
函館～青森	95	90.7%	9
室蘭～青森	95	45.0%	53
室蘭～八戸	95	45.0%	53
室蘭～大洗	180	45.0%	99
苫小牧～八戸	95	45.0%	53
苫小牧～仙台	95	45.0%	53
苫小牧～秋田	150	45.0%	83
苫小牧～大洗	175	45.0%	97
苫小牧～東京	200	45.0%	110
小樽～新潟	186	45.0%	103
小樽～敦賀	154	45.0%	85

クについてはリンク間距離から所要時間を求めている。また、現状の列車ダイヤをもとに、各フェリー航路に接続する貨物列車の運行を仮定している。

本研究の事例においては、フェリー航路が輸送能力のボトルネックとなる。そこで、各フェリー航路の平均トラック積載率(表 1)と各航路に就航している船舶の輸送力から代替経路としての輸送能力を求めた(表 2)。海峡航路である函館～青森間はトラック積載率が 90%と高く、輸送可能なトラック数も 9 台/便と少ない。そのため、本研究ではこの区間を代替経路から除外した。

4. フェリーの輸送能力を考慮しない代替経路の探索

(1) 途中停車・運休列車に対する代替経路探索

貨物列車脱線事故時に途中停車・運休された列車に対し、経路探索を行った結果の一部を表 3 に示す。時刻を考慮することで、列車の位置や時間帯によって代替経路が異なることが明らかになった。その中で、苫小牧～八戸間のフェリー航路を代替経路とする列車が多く、同区間が代替経路として高い機能を有していることが明らかになった。

(2) 待機という代替経路

本モデルでは時刻を考慮しているため、不通となっている区間(リンク)における各列車への接続時刻情報を与えることで、開通までの時間を想定した経路探索を行うことができる。

表 3 途中停車・運休列車を対象とした探索結果

日時	列車番号	最短経路	所要時間(分)
(上り)	6 日 発	3086 (札幌タ～名古屋タ)	東室蘭(20:03発)→室蘭(23:25発)→フェリー→青森(翌6:25着)→青森(8:45発)3066列車→八戸→仙台→東京→名古屋タへ
		3092 (札幌タ～隅田川)	札幌タ(20:53発)→苫小牧→苫小牧(0:00発)→フェリー→八戸(9:30着)→八戸(10:56発)3066列車→仙台→隅田川
	7 日 発	4090 (札幌タ～大阪タ)	札幌タ(16:45発)→苫小牧→苫小牧(20:15発)→フェリー→秋田(翌8:00着)→秋田(8:54発)4090列車→新潟→敦賀→大阪タ
		3076 (札幌タ～宮城野)	札幌タ(5:01発)→苫小牧→苫小牧(9:30発)→フェリー→八戸(18:00着)→八戸(20:42発)3076列車→宮城野
(下り)	5 日 発	4099 (梅田～札幌タ)	南福井(1:53発)→新潟(10:30)→秋田→青森→青森(22:20発)→フェリー→函館(翌2:00着)→函館(6:24発)3057列車→長万部→室蘭→苫小牧→札幌タ
	6 日 発	3057 (隅田川～札幌タ)	東福島(20:42発)→仙台(21:55)→八戸→八戸(5:30発)→フェリー→苫小牧(13:00着)→苫小牧(18:59発)8053列車→札幌タ
		3099 (福岡タ～札幌タ)	富山貨物(21:43発)→新潟(1:24)→秋田→青森(14:45発)→フェリー→室蘭(21:30着)→室蘭(1:20発)4091列車→苫小牧→札幌タ
	7 日 発	3085 (名古屋タ～札幌タ)	名古屋タ(21:43発)→東京(7:00)→仙台→八戸→八戸(17:30発)→フェリー→室蘭(20:40着)→室蘭(5:55発)3085列車→苫小牧→札幌タ

*：ネットワーク内での所要時間

表 4 復旧時刻を考慮した代替経路の探索結果

	列車番号	最短経路	所要時間(分)
復旧時間設定有	4099 (梅田～札幌タ)	秋田貨物(19:06発)→青森(23:48着)→青森(3:30発)→函館→長万部→室蘭→苫小牧→札幌タ	975
	3057 (隅田川～札幌タ)	東福島(20:42発)→仙台(21:55)→八戸→青森(2:55着)→青森(3:30発)→函館→長万部→室蘭→苫小牧→札幌タ	873
	3099 (福岡タ～札幌タ)	富山貨物(21:43発)→新潟(1:24)→秋田→青森(11:35着)→青森(12:30発)→函館→長万部→室蘭→苫小牧→札幌タ	1352

6 日 3 時 24 分に復旧した下り線を対象に、代替経路の探索を行った結果の一部を表 4 に示す。開通まで待機し、通常の経路を用いた方が所要時間が短くなる列車が存在することがわかる。

代替経路による輸送が不可能な場合、待機も代替経路の一つになる。現実には、比較的短時間で復旧が見込まれる場合、列車を待機させる方法が採用されている。この時、事故・災害に対する復旧時刻の正確な予測が重要な条件となる。

5. フェリーの輸送能力を考慮した代替経路の探索

(1) 輸送能力を考慮した経路探索法と仮定条件

本研究では、フェリーの輸送能力を考慮した代替経路の探索を行った。ここでは、不通区間の復旧時刻を考慮していない。対象とした列車は札幌ターミナルを出発地とし、本州へと向かう上りの貨物列車 19 本とした(表 5)。本研究では以下の手順で 1 日を単位とした各列車の代替経路を求めた。

表 5 対象貨物列車と着地・札幌発時刻

3064(隅田川・0:20)	4098(梅田・0:34)	3094(堀ヶ谷タ・2:20)
3060(越谷タ・2:26)	3080(西浜松・3:08)	3084(名古屋タ・4:30)
3076(宮城野・5:01)	8052(東京タ・6:14)	3078(東青森・7:22)
2050(宮城野・13:00)	3062(越谷タ・16:15)	4090(大阪タ・16:45)
3050(東京タ・17:45)	3086(名古屋タ・18:10)	3092(隅田川・20:53)
3098(福岡タ・21:27)	3054(隅田川・21:47)	3088(広島タ・22:21)
4094(名古屋タ・23:11)		

表 6 有珠山噴火時におけるトラック代行輸送のコンテナ平均積載数³⁾

	2 個積	3 個積	平均積載数
4 月	3,748	1,990	2.35 個/台
5 月	4,914	2,992	2.38 個/台
6 月	978	578	2.37 個/台
合計	9,640	5,560	2.37 個/台

- ① 全対象列車について代替経路を探索
- ② 最も列車が集中したフェリー便について、出発時間が早い列車を利用列車として確定
- ③ 確定された列車以外の列車について、そのフェリー便を除いて再度代替経路を探索
- ④ 他のフェリー便について、利用列車を確定
- ⑤ 以降、全ての列車について代替経路が確定するまで順次繰り返す

対象列車は通常時と同じ時刻に出発し、同一港湾ならば他航路に貨物を振り分けることを仮定している。各列車の輸送量については一編成のコンテナ数を 100 個、利用率を 80%と仮定し、各列車一律にコンテナ 80 個とした。有珠山噴火時におけるトラック 1 台当たりの平均コンテナ積載数、約 2.4 個/台(表 6)から代行輸送に必要とされるトラック台数を算出した。

(2) フェリー輸送能力を考慮した代替経路の探索結果

代替経路を探索した結果、フェリー航路の利用によって各列車の貨物を輸送することは可能であった。各フェリー航路の利用状況を図 5 に示す。すでに、苫小牧～八戸間のフェリー航路の代替性が高いことを示した。多くの列車において同区間が最短経路として選択されたが、選択した全列車について代替経路とすることは輸送能力から不可能である。また、代わりとなる室蘭～苫小牧～大洗間のフェリー航路の利用は目的地までの総所要時間が大きく増加する列車が存在している(表 7)。フェリーの航走時間、それ以上に出航までの接続時間が長いことが所要時間増加の要因といえる。

フェリーを主とした代替輸送は輸送能力や運航頻

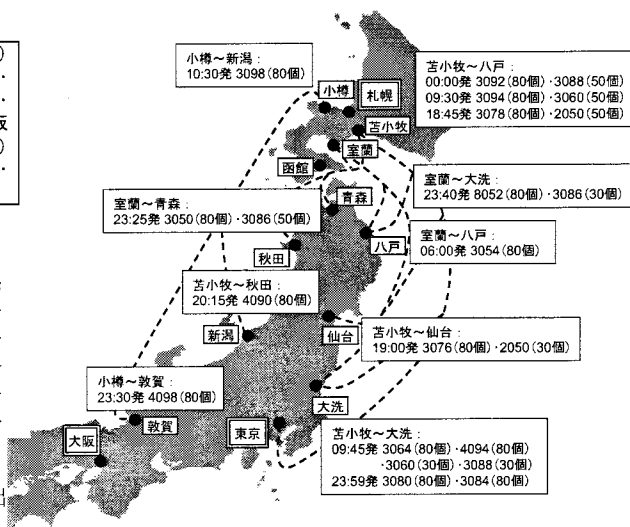


図 5 経路探索対象列車のフェリー利用状況

表 7 輸送能力の考慮による経路探索結果の比較

	列車番号	最短経路	所要時間(分)
輸送能力を考慮せず	8052 (札幌～東京タ)	札幌タ(6:14発)→苫小牧→苫小牧(9:30発)→フェリー→八戸(18:00着)→八戸(20:42発)3076列車→仙台(3:39発)3056列車→東京タへ	1554
	3084 (札幌～名古屋タ)	札幌タ(4:30発)→苫小牧→苫小牧(9:30発)→フェリー→八戸(18:00着)→八戸(20:42発)3076列車→仙台(3:39発)3056列車→東京→名古屋タへ	*1658
輸送能力を考慮	8052 (札幌～東京タ)	札幌タ(6:14発)→苫小牧→室蘭→室蘭(23:40発)→フェリー→大洗(翌18:30着)→大洗→東京タ	2481
	3084 (札幌～名古屋タ)	札幌タ(4:30発)→苫小牧→苫小牧(23:59発)→フェリー→大洗(翌20:00着)→東京→名古屋タへ	*2330

*: ネットワーク内での所要時間

度に制限があるため、所要時間を増加させてしまう。そのため、不通期間が長期間にわたる場合は船舶による代行輸送等を検討すべきことが明らかになった。

6. おわりに

本研究では時刻を考慮した代替経路探索モデルを構築した。その結果、待機を代替経路との一つとして表現し、フェリー航路の輸送能力や運航頻度を考慮した代替経路の探索を行うことができた。しかし、その適用には事故・災害発生直後における各輸送機関の状況や復旧時刻の予測などの情報が必要である。また、代替経路探索モデルについても、さらに詳細な条件を考慮できるよう改良を進める所存である。

参考文献

- 1) 日本貨物鉄道(株): JR 貨物時刻表, 2000
- 2) (社)北海道物流開発研究センター: 季刊 物流開発, No.49, 1998
- 3) 北海道旅客鉄道(株): 有珠山噴火 鉄道輸送の挑戦, 2001