

# 水路掘削構想に伴う陸奥湾内水域の流況変化と 環境, 物流への効果について

ON THE EFFECTS OF CONCEPTION OF THE EXCAVATED CHANNEL ON  
FLOW VELOCITY IN THE INNER PART OF MUTSU BAY, ENVIRONMENT,  
AND GOODS MOVEMENT

岡野 茂<sup>1</sup>・広瀬 一樹<sup>1</sup>・伊藤 武史<sup>1</sup>・竹内 貴弘<sup>2</sup>・佐々木 幹夫<sup>3</sup>・佐伯 浩<sup>4</sup>  
Shigeru Okano, Kazuki Hirose, Takeshi Itou, Takahiro Takeuchi, Mikio Sasaki, Hiroshi Saeki

<sup>1</sup>学会員 八戸工業大学 土木工学科 (〒031-8501 八戸市妙大開 88-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 八戸工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒031-8501 八戸市妙大開 88-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 八戸工業大学教授 工学部土木工学科 (〒031-8501 八戸市妙大開 88-1)

<sup>4</sup>フェロー 工博 北海道大学大学院教授 (〒060-0813 札幌市北区 1 3 条西 8 丁目)

The concept of the excavated channel at Shimokita arm is considered to increase the tidal exchange between the inner part of the Mutsu Bay and the open sea. The change of flow velocity is calculated by FEM under two conditions with and without the excavated channel. In additions, the utilizing the excavated channel as seaway gives the possibility of the reduction of carbon dioxide emission and energy consumption due to shortcut of seaway route. And, the possibility of reduction of goods movement cost is also investigated in the paper.

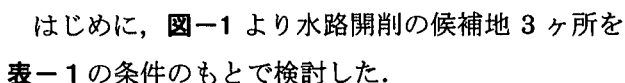
**Keywords :** Channel, FEM, Tidal Exchange, Goods Movement

## 1. 前書き

陸奥湾は閉鎖性水域であるために、湾内への海水交換は主として湾口部からの外海水によってなされており、自然浄化作用は極めて緩慢である。陸奥湾を代表的するホタテ漁業は、昭和 50 年代から養殖による一大産業へと発展しているが、過去に、夏泊半島付近で異常貝発生による大量へい死、その後、陸奥湾全域に拡大、さらに、貝毒などの問題が業者を直撃した経緯がある。また、青森市、野辺地町、むつ市を湾岸に抱え、それらの生活排水の流入、汚水処理場の整備不足、さらに除排雪した雪の陸奥湾

への投棄、を考慮すると将来的に水質への悪影響が懸念されている<sup>1), 2)</sup>。本研究では、下北半島の水路開削構想を取り上げ、それにともなう陸奥湾内水の流況変化、舟運としての水路利用の検討及び、副次的に発生するの環境 (CO<sub>2</sub> 排出量やエネルギーの削減量)、さらに物流への効果を試算し、水路開削構想の有効性を検討することを目的とした。

## 2. 水路開削の条件

はじめに、より水路開削の候補地 3ヶ所を表-1の条件のもとで検討した。

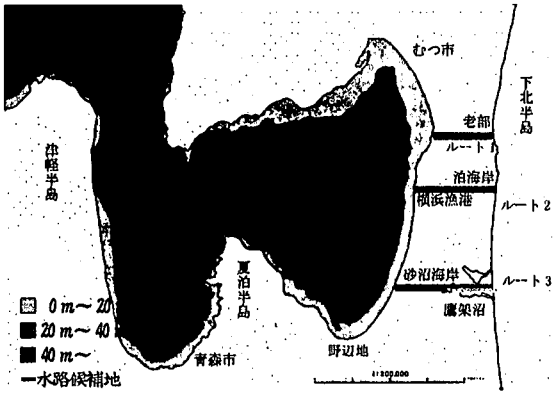


図-1 水深分布図及び水路開削候補地

表-1 水路の開削条件

①地理条件	②社会条件	③自然環境条件
高低差	土地利用 農業・水産	気候 気温・降水量など
水平距離	(文化遺産) (国定公園)	自然災害
既存沼の利用	物流の便宜	

検討結果を表-2の開削条件に示す様に、ルート3が比較的優れていた。理由としては、表-1の①地理条件で高低差が少なく既存沼が利用できる点、により水平距離が短縮できること、②社会条件では農地利用で劣るものの、③自然環境条件では他と同じような結果となること、による。ルート3と現状との比較により、さらに別途効果の検討を行うこととする。また、文化遺産や国定公園は十分な資料がなかった。

表-2 各分野の結果

	開削条件	流況結果	環境	物流
ルート1	×	○	×	×
ルート2	×	○	△	△
ルート3	△	○	○	○

○：良 △：やや良 ×：適さない

### 3. 陸奥湾の潮流解析

ここでは、図-1に示す水路位置を設けた3ルートの場合と現況の水路がない場合についての潮流解析を有限要素法で行い、現状での流況パターンと水路を設けたときの流況パターンを比較検討する。

### (1) 計算方法

今回は初期検討として、流況のシミュレーションには、コリオリ項のみを考慮した次の基礎方程式を用いた。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Hu}{\partial x} + \frac{\partial Hv}{\partial y} = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fv = 0 \quad (2a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + fu = 0 \quad (3a)$$

ここに、 $u$ 、 $v$ は流速を水深方向へ積分した平均流速、 $g$ は重力加速度、 $H = h + \zeta$ 、ただし $h$ は平均水面、 $\zeta$ は潮位で平均水面からの鉛直変位、 $f$ はコリオリ係数である。 $f = 2\omega \sin \varphi$ 、 $\varphi$ ：緯度、 $\omega$ ：

$$\text{角速度 } \omega = \frac{2\pi}{(60 \times 60 \times 24)}$$

陸奥湾と各水路を三角形要素に分割し(図-2)、平館海峡・水路両端において、周期12時間、全振幅1mのSin波形状の潮位変動を与え、湾内の流況を求めた。

陸奥湾メッシュ図：ルート3

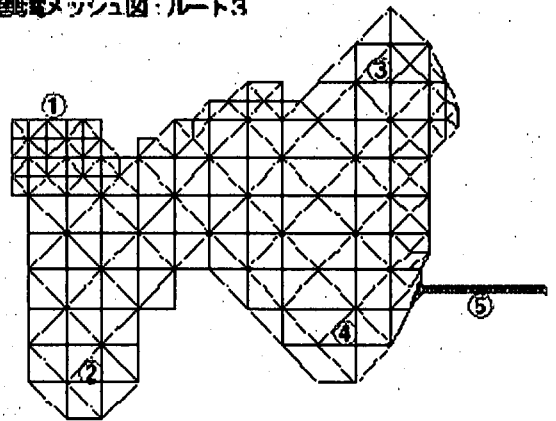


図-2 メッシュ図：ルート3

### (2) 計算結果

図-3から図-6は陸奥湾の流況を示したものである。①では上潮、下潮時に最大0.32m/s、⑤では0.58m/sの流速が生じている。

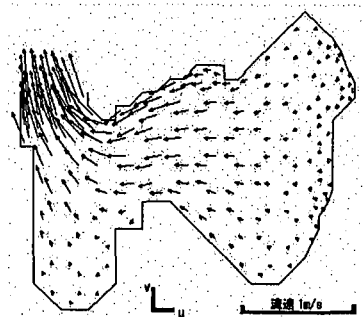


図-3 水路なし：TIME=25200 (s)

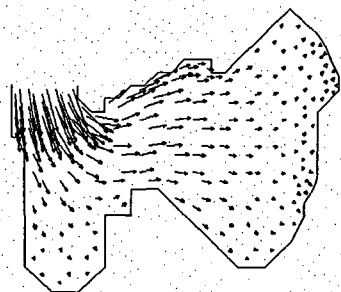


図-4 水路なし：TIME=50400 (s)

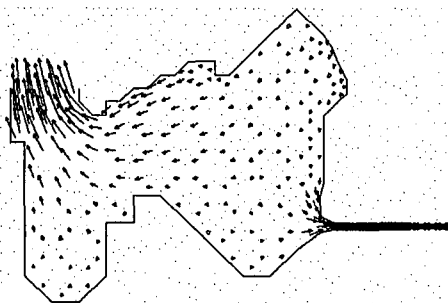


図-5 ルート3：TIME=25200 (s)

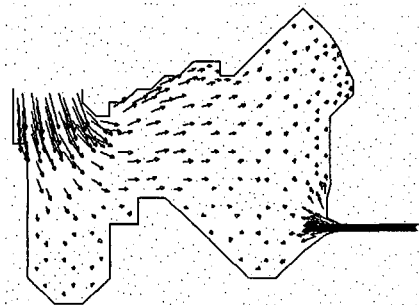


図-6 ルート3：TIME=50400 (s)

図-7から図-9で示したようにわずかであるが湾内の停滞海域の流速が上昇傾向を示した。また、水路を潮汐変化に合わせてゲート操作を行うことによりさらに海水交換が促進されるとの報告<sup>3)</sup>があり、水路を運河として検討すること伴に今後の検討事項としたい。

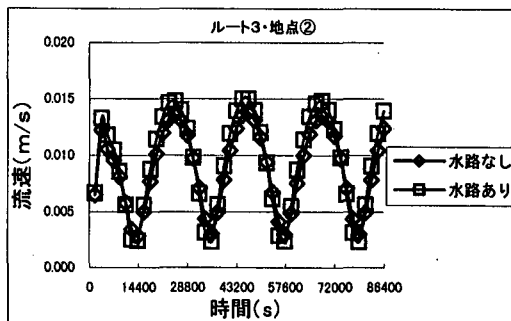


図-7 流速比較・地点②

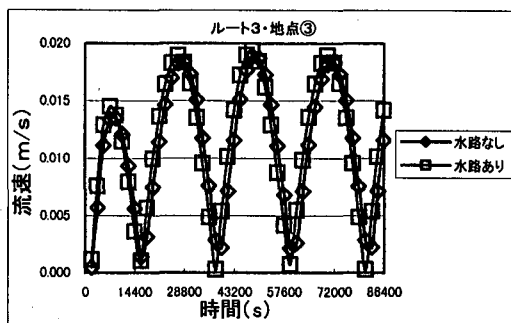


図-8 流速比較・地点③

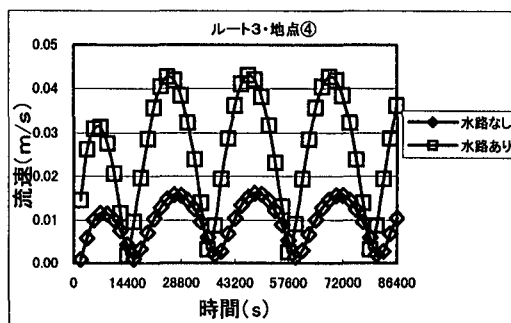


図-9 流速比較・地点④

#### 4. 環境への効果

現状のトラック輸送から舟運により物流が効率化され、これにより  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 等の環境負荷の低減やエネルギー消費の抑制などといった低減効果が期待される。仮に、水路を水運として利用した場合に、青森港を利用する船舶<sup>4)</sup>の航路短縮が図られ、それに伴って、 $\text{CO}_2$ 排出量、エネルギー消費量の削減が可能となる。この削減量を表-3のように試算した。なお、 $\text{NO}_x$ については資料不足により、今回は $\text{NO}_x$ について行うことができなかった、ここでは  $\text{CO}_2$ 排出量、エネルギー量に関して検討をする。

表-3 CO<sub>2</sub>、エネルギーの削減

	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度
輸送量(トン)	1,161,029	1,263,295	1,356,769	1,518,276	1,211,229
輸送距離(km)	160	160	160	160	160
トンキロ	185,764,640	202,127,200	217,083,040	242,924,160	193,796,640
トンキロあたりのCO <sub>2</sub> 排出量	160	160	160	160	160
CO <sub>2</sub> 排出量	29,722,342,400	32,340,352,000	34,733,286,400	38,867,865,600	31,007,462,400
トンキロあたりのエネルギー消費効率	105	105	105	105	105
エネルギー消費量	19,505,287,200	21,223,356,000	22,793,719,200	25,507,036,800	20,348,647,200
トラック台数 <sup>3)</sup>	6,050	6,583	7,070	7,912	6,312
トラック台数 <sup>2)</sup>	4,313	4,963	5,040	5,640	4,499

輸送量：太平洋側からくる船と、出て行く船との総積載量（t）  
 輸送距離：現在までの航路から、水路を用いたときの航路を引いたもの（km）  
 トンキロ：輸送量×輸送距離  
 トンキロあたりCO<sub>2</sub>排出量：トンキロあたりのCO<sub>2</sub>排出量（図-10）  
 トンキロあたりのエネルギー消費量：トンキロあたりのエネルギー消費量（図-10）  
 CO<sub>2</sub>排出量：トンキロ×トンキロあたりのCO<sub>2</sub>排出量  
 エネルギー消費量：トンキロ×トンキロあたりのエネルギー消費量  
 ※ 1 青森から東京区間片道あたりのトラックのCO<sub>2</sub>排出量に換算した値  
 ※ 2 青森から東京区間片道あたりのトラックのエネルギー消費量に換算した値  
 10tトラックに想定した場合（輸送量：10t 輸送距離：750km トンキロ：7.50  
 トラック1台あたりのCO<sub>2</sub>排出量：4,912,500  
 トラック1台あたりのエネルギー消費量：45,22,500

表-3の試算には、図-10に示す各交通機関毎に異なるCO<sub>2</sub>排出量、エネルギー排出量の比較値を換算に用いた。その結果、青森～八戸間のトラック（10t）台数に換算すると5年間では、  
 CO<sub>2</sub>排出量 **33,927台**  
 エネルギー消費量 **24,455台**  
 に相当する量が、ルート3を水運として利用することによって削減が可能と試算される。

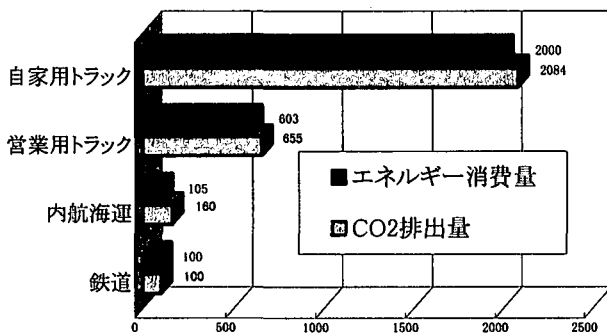


図-10 交通機関毎のCO<sub>2</sub>排出量とエネルギー消費量

### 5. 物流への効果

八戸港で、荷おろし・陸送される現状の貨物（搬出）を対象とし、これを青森港より搬出される場合の物流コスト、さらに現況の八戸港より搬出される

場合の物流コストをそれぞれ試算し、両者を比較することにより、水運のメリット・デメリットを評価する。試算条件として水運利用の場合には、水運利用の海上輸送距離増加のコストを水運コストとし、荷おろしや積み替え作業コストは八戸港、青森港利用の両方の場合において同一であると考えて、比較対照のみ算出する。なお、水運利用は片道のみ利用と仮定した。

### (1) step1: コスト削減可能な指向地の選定

図-11に青森港を基点にした場合の陸運コストに優れる地域を示した。この試算方法は、八戸港からの搬出される貨物を<sup>5)</sup>、八戸港からと青森港からの2通りの場合の陸運コストを比較し、水運を利用し青森港から陸送した方が低コストとなる仕向地である。

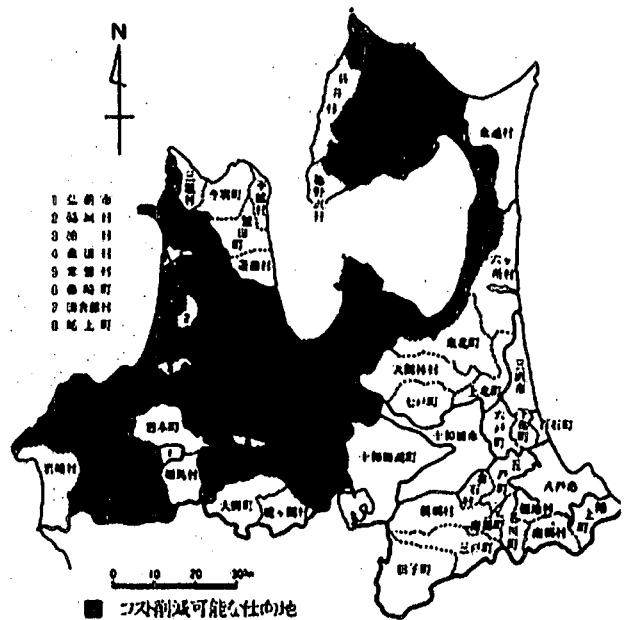


図-11 コスト削減可能な仕向地

コスト削減可能な仕向地を選定するのに必要な1年間のトラック台数とトラック1台あたりの八戸港からと青森港からの陸運コストを考慮し、両者の差額を試算し、コスト削減可能な仕向地のみを表-4に示す。（マイナスとなる場合）

表-4 陸運コストの比較

仕向地	距離 (八戸~) (km)	距離 (青森~) (km)	1ヶ月の 貨物数量 (t)	1年間台数 10tトラック	陸運コスト (八戸~) (円)	陸運コスト (青森~) (円)	1年間コスト (八戸~) (円)	1年間コスト (青森~) (円)	差額 (青森-八戸) (円)	貨物数社の 割合 (%)
青森市	105.0		8148	9780	46,925		458,926,500	0	-458,926,500	45.83
弘前市	145.0	40.0	2010	2412	59,235	25,575	142,874,820	61,686,900	-81,187,920	11.31
黒石市	63.5	29.5	160	192	34,935	22,215	6,707,520	4,265,280	-2,442,240	0.90
五所川原市	137.0	32.0	1727	2076	55,235	25,575	114,667,860	53,093,700	-61,574,160	9.71
むつ市	115.0	98.0	1662	2004	50,000	43,505	100,200,000	87,184,020	-13,015,980	9.35
平内町	67.0	25.0	126	156	34,935	22,215	5,449,860	3,465,540	-1,984,320	0.71
鮭ヶ沢町	157.5	59.0	69	84	62,310	31,860	5,234,040	2,676,240	-2,557,800	0.39
木造町	144.0	39.0	92	120	59,235	25,575	7,108,200	3,069,000	-4,039,200	0.52
深浦町	196.5	98.0	23	36	74,620	43,505	2,686,320	1,566,180	-1,120,140	0.13
柏村	137.0	36.5	36	48	55,235	25,575	2,651,280	1,227,600	-1,423,680	0.20
車力村	143.0	38.0	30	36	59,235	25,575	2,132,460	920,700	-1,211,760	0.17
西目屋村	163.5	57.5	6	12	65,390	31,860	784,680	382,320	-402,360	0.03
藤崎町	140.5	34.5	20	24	59,235	25,575	1,421,640	613,800	-807,840	0.11
浪岡町	126.5	21.5	88	108	53,080	22,215	5,732,640	2,399,220	-3,333,420	0.49
平賀町	76.5	42.5	163	204	37,730	28,700	7,696,920	5,854,800	-1,842,120	0.92
常盤村	67.5	24.5	203	252	34,935	22,215	8,803,620	5,598,180	-3,205,440	1.14
田舎館村	73.5	31.5	8	12	37,730	25,575	452,760	306,900	-145,860	0.04
板柳町	90.5	27.0	12	24	43,505	22,215	1,044,120	533,160	-510,960	0.07
金木町	132.5	27.5	431	528	55,235	22,215	29,164,080	11,729,520	-17,434,560	2.42
中里町	146.0	41.0	161	204	59,235	28,700	12,083,940	5,854,800	-6,229,140	0.91
鶴田町	142.5	34.5	12	24	59,235	25,575	1,421,640	613,800	-807,840	0.07
市浦村	175.5	55.0	146	180	68,465	31,860	12,323,700	5,734,800	-6,588,900	0.82
小泊村	186.0	70.5	276	336	71,545	37,730	24,039,120	12,677,280	-11,361,840	1.55
野辺地町	52.0	44.0	826	996	31,860	28,700	31,732,560	28,585,200	-3,147,360	4.65
横浜町	83.5	75.5	248	300	40,555	37,730	12,166,500	11,319,000	-847,500	1.39
川内町	141.5	124.5	32	48	59,235	53,080	2,843,280	2,547,840	-295,440	0.18
大畑町	132.0	124.0	830	996	55,235	53,080	55,014,060	52,867,680	-2,146,380	4.67
大間町	165.0	147.5	220	264	65,390	59,235	17,262,960	15,638,040	-1,624,920	1.24
風間浦村	154.0	137.5	14	24	62,310	55,235	1,495,440	1,325,640	-169,800	0.08
計			17779				1,074,122,520	383,737,140	-690,385,380	100

表-5 水運コストを差し引いたコスト削減額

仕向地	水運コスト配分額	水運コストを含む 差額
青森市	19,256,863	439,669,637
弘前市	4,750,404	76,437,516
黒石市	378,142	2,064,098
五所川原市	4,081,566	57,492,594
むつ市	3,927,946	9,088,034
平内町	297,452	1,686,868
鮭ヶ沢町	163,074	2,394,726
木造町	217,431	3,821,769
深浦町	54,358	1,066,782
柏村	85,082	1,338,598
車力村	70,902	1,140,858
西目屋村	14,180	388,180
藤崎町	47,215	760,625
浪岡町	207,978	3,125,442
平賀町	385,232	1,456,888
常盤村	479,767	2,725,673
田舎館村	18,907	126,953
板柳町	28,361	482,599
金木町	1,018,619	16,415,941
中里町	380,505	5,848,635
鶴田町	28,361	779,479
市浦村	345,054	6,243,846
小泊村	652,294	10,709,546
野辺地町	1,952,156	1,195,204
横浜町	586,120	261,380
川内町	75,628	219,812
大畑町	1,961,610	184,770
大間町	519,945	1,104,975
風間浦村	33,087	136,713
合計	42,018,239	648,367,141

尚、陸運コストの算定は、北海道陸運局の資料を参考以下に式を用いた。

$$\text{陸送コスト} = 307.74 \times \text{距離(km)} + 13070(\text{円})$$

(2) step2: コスト削減額の算出

表-4にさらに、水運コストを含めた検討を行う。このため、貨物数量から水運コストを算出するのに必要な船舶数を求め水運コストを算出する。この場合、貨物数量を一番取り扱いの多いセメントに仮定して算出した。

そして、1ヶ月の貨物数量の合計17,779(t)を船舶の積載量で割った値が船舶数となる。今回は1000DWTの船に仮定しているため、積載量は500(t)となるため、合計36隻必要となる。

水運単価は、資料<sup>6)</sup>を参考に以下とした。

1000DWT,時速5ノット(約9km),

コスト単価 17,307円(円/隻/時),

航路の所要時間 5.62時間

以上により、水運コストを考慮したコスト削減は、

表-5に示す様に、約6.5億円となる。

6. 結論

以上の検討から、

- ・水路の選定では、候補地各条件の比較から、ルート3が最も優れていた。
- ・流況解析では、停滞海域の流速が上昇傾向を示した。
- ・水路を舟運として利用した場合、ルート3のショートカットにより、5年間でCO<sub>2</sub>排出量は、東京-青森

間トラック 33,927 台, エネルギー消費量は 24,455 台分に換算される相当量の削減が可能と試算された。  
・水路を舟運として利用した場合の試算からは, 物流コストで年間約 6.5 億円の削減効果が期待できると試算された。

以上の結果より, 水路開削構想では, 陸奥湾内水の流況変化, 環境 (CO<sub>2</sub> 排出量、エネルギー消費量), 物流コストの面からは有効な方法であるという結果がえられた。しかし, これらは, 初期の検討であり多くの仮定を含んでいるため、例えば時間便益や機動性なども含めて詳細な検討が今後さらに必要と考えている。

**謝辞:** 資料を提供して下さった青森県青森港港湾事務所および青森県八戸港港湾事務所の方々の協力

をいただきました。記して感謝の意を記して表します。

#### 参考文献

- 1) 青森県気象月報, 1995-1997.
- 2) 青森県自然災害誌, 1995-1997.
- 3) 村上 和夫 ほか, 強制循環海流による海水交換の水理模型実験-鹿児島湾模型による検討-, 港湾技研資料, No.544, 運輸省港湾技術研究所, 1986.
- 4) 青森港統計: 青森港港湾事務所, 平成 6 年~平成 10 年, 1994-1998.
- 5) 平成 10 年陸上出入貨物調査: 運輸省運輸政策局, 情報管理部, 1999.
- 6) 1999 年度海運なんでもデータ集: 内航ジャーナル, 1999.