

# 三陸沿岸における水産加工・流通施設の最適配置に関する研究

渡部 大輔

## Optimal facility location of fishery logistics in the Sanriku area

Daisuke WATANABE

**Abstract:** The Sanriku coast was devastated by a tsunami from the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011, totally destroying the fishery facilities. For fishery reconstruction, we must consider not only the fishing fleets and ports, but also the entire supply chain: processing plants, refrigeration facilities and fish markets. In this study, the optimal location of fishery facilities is analyzed using typical facility location models.

**Keywords:** 水産流通(fishery logistics), 施設配置 (facility location), 東日本大震災 (great East Japan earthquake), 震災復興 (reconstruction)

### 1. はじめに

本年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、特に震源地に近い三陸海岸にある水産関係施設は甚大な被害を受けた。地域の代表的な産業である水産業の復興に向けて、漁船や漁港だけでなく、消費者へ届けるまでの冷凍冷蔵庫を含めた加工流通業、市場や荷捌き場といった流通業の復旧・復興も不可欠であり、水産関連事業の再編立地と組み合わせた水産加工・流通業の集積化・団地化を含めた復興計画が検討されている(水産庁, 2011)。

そこで、本研究では、三陸沿岸を対象として、津波による水産加工・流通施設の被災状況を把握した上で、水産業の復旧・復興の際の段階的な整備の指針となるべく、三陸沿岸を対象とした広域的な視点からの加工・流通施設の最適配置に関して、代表的な施設配置問題である  $p$ -メディアン問題、 $p$ -センター問題によりモデル分析を行う。

### 2. 水産加工・流通施設の被災状況

#### 2.1 震災以前の施設立地状況

被災前の水産加工・流通業の立地状況について、「漁業センサス」(農林水産省, 2010)を用いて、地理情報システム ArcGIS10 (ESRI ジャパン社)により図2-1のように、水産加工場が図2-1、冷凍・冷蔵工場が図2-2のようになる。これより、青森県、岩手県、宮城県にまたがる三陸海岸に面した市町村のうちでは、岩手県野田村を除いた18市町村に立地しており、中でも八戸、気仙沼、石巻と言った遠洋・沖合漁業の基地となっている大規模な特定第3種漁港の周辺に集積していることが分かる。

#### 2.2 津波浸水域における施設立地状況

漁業センサスでは個別の施設の立地について詳細なデータは得られない。そこで、水産加工・流通に必要な不可欠である冷蔵倉庫の立地について、被災前で最新の統計である「全国冷蔵倉庫一覧」(日本冷蔵倉庫協会, 2009)を用いて分析を行う。住所データベースとして、「ArcGIS データコレクション 住居レベル住所」(ESRI ジャパン社)を用いて、ArcGIS10を用いて緯度経度変換を行う。そ

の際、緯度経度変換の精度が低かった施設については、手作業で位置の修正を行った。

一方、津波による浸水域については、国土地理院にて公表されている「土地利用細分メッシュデータ」(国土交通省, 2006b) の浸水メッシュデータを用いた。

冷蔵倉庫と浸水メッシュのデータを重ね合わせると、気仙沼市は図 2-3、石巻市は図 2-4 のようになり、ほぼ全ての施設が浸水域内にあることが分かる。冷蔵倉庫の立地する市町毎に、全倉庫と浸水域内に立地する倉庫の容積を集計すると図 2-5 のようになり、八戸、気仙沼、石巻、仙台で突出していることが分かる。一方、浸水域内に立地する倉庫の容積を全倉庫容積で除した浸水倉庫容積の割合は、平均で 66%と非常に高い割合となった。各市町について図 2-6 から、釜石から塩釜にかけて、90%以上の冷蔵倉庫が浸水していることが分かる。特に、岩手県内の市町においては、倉庫容積は非常に小さいものの、浸水割合は非常に高くなっている。一方、八戸及び仙台においては、浸水割合は低いものの、浸水した倉庫容積は非常に大きくなっている。

以上のことから、三陸沿岸において、水産加工流通に必要な不可欠である冷蔵倉庫が非常に大きな被害を受けていることが確認できた。

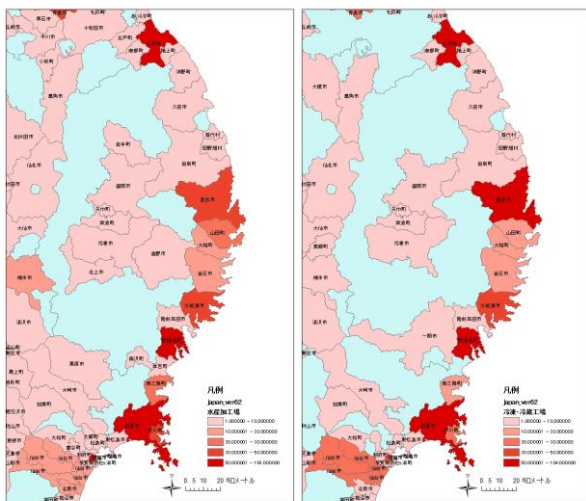


図 2-1 水産加工場 図 2-2 冷凍・冷蔵工場

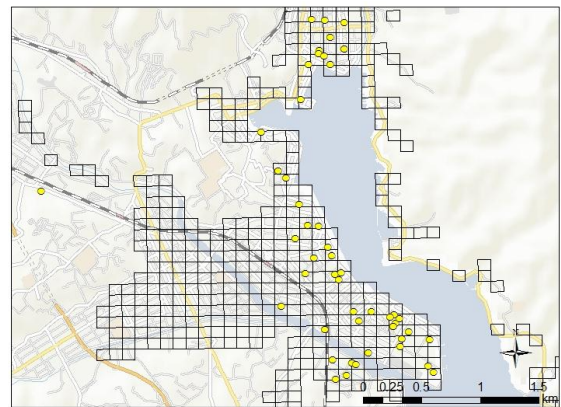


図 2-3 冷蔵倉庫立地と浸水メッシュ (気仙沼市)

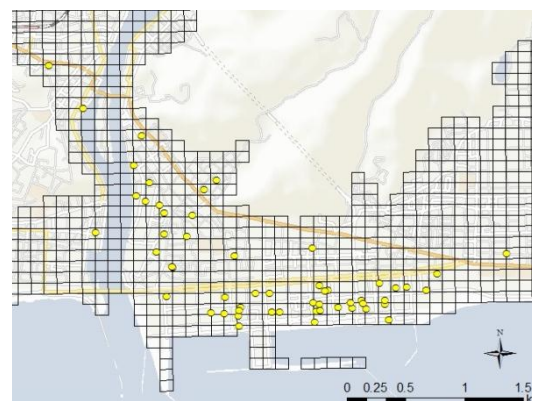


図 2-4 冷蔵倉庫立地と浸水メッシュ (石巻市)

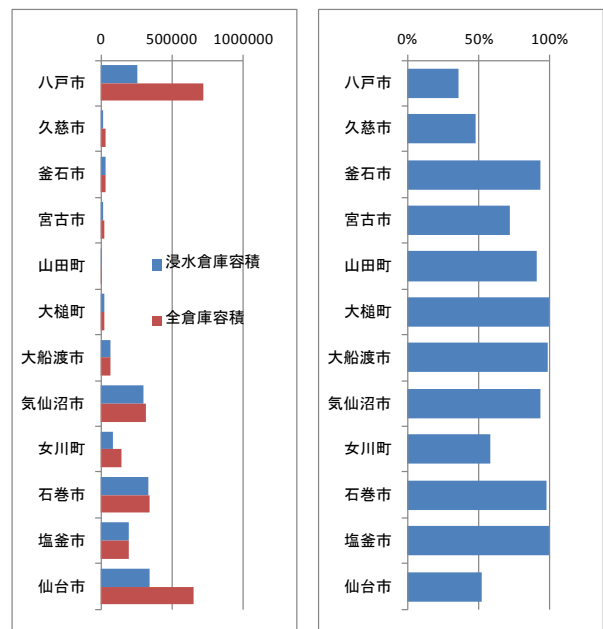


図 2-5 浸水倉庫容積 図 2-6 浸水割合

### 3. 施設配置モデルによる最適配置プロセス

#### 3.1 データの概要

対象地域として、青森県、岩手県、宮城県にまたがる三陸海岸に面した 19 市町村を対象とする (図 3-1)。市町村内に複数の漁港が存在するため、代表的な漁港を一つ選択し、「国土数値情報」(国土交通省, 2006a) を用いて漁港の位置データを取得し、各市町村の代表漁港とする。

輸送費用については、道路の復旧状況により距離や時間が大きく変化する他、トラックによる陸上輸送の他に、漁船による海上輸送も想定される。そのため、輸送費用は移動距離とし、代表漁港間の直線距離を採用する。

各市町村内における輸送需要は、代表漁港において発生するものと仮定する。輸送需要量としては、各漁港により被災度合いが異なる他、海面漁業(沿岸・沖合・遠洋)や養殖・栽培漁業により多様な水産物が生産されており、水揚量の将来予測が非常に難しい。そのため、災害前のポテンシャルの評価という観点から被災前の統計である「海面漁業生産統計調査」(農林水産省, 2011) を用いることとし、「総水揚量」として、海面漁業漁獲量と養殖収穫量の合計を用いることとする (図 3-2)。

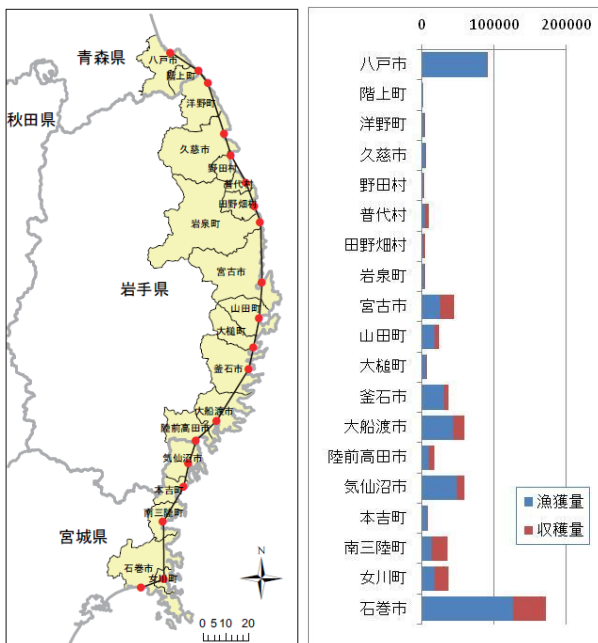


図 3-1 対象地域

図 3-2 総水揚量

#### 3.2 施設配置モデル

施設配置問題 (Daskin, 1995) の代表的なモデルとして、所与の  $p$  個の施設を配置する以下の 2 つの離散立地モデルを用いる。

- $p$ -メディアン問題 (ミニサム問題)
- $p$ -センター問題 (ミニマックス問題)

前者は総輸送費用最小化を目的とし、輸送費用として輸送重量と輸送距離の積和を用いており、運輸部門の分析で通常用いられる「トンキロ指標」と等価となる。後者は最大距離最小化を目的とし、公平性を重視した指標であり、救急などの公共施設や需要が不確実な場合において有効な問題であると考えられる。

更に, Suzuki *et al.* (1991) や大澤 (1996) において議論されている以下の 2 つの配置方法の違いについても検討を行う。

- 同時最適化モデル: 既存施設の配置を考慮せず、決められた施設数を配置する。
- 逐次最適化モデル: 既存施設の廃止を行わず、決められた施設数を追加的に配置する。

現実の意思決定においては、予算や資材、日程等の制約があることから、後者のように追加的に施設が建設される場合が多いと考えられる。一般的には、後者の方が前者よりも目的関数の値が悪くなるが、その違いがどの程度なのかを比較することで、逐次最適化による影響を評価することが可能となる。

求解は、数理計画ソルバー (glpk4.7) を用いる。

#### 3.3 $p$ -メディアン問題

各需要点から施設までの総輸送費用を最小とするように、 $p$  個の施設の配置及び各需要点の施設への割当を決定する問題である。需要点の集合を  $I$ 、施設配置候補点 (以下、候補点) の集合を  $J$  とし、需要点  $i \in I$ 、候補点  $j \in J$  に対して、需要点  $i$  における輸送需要  $h_i$ 、需要点  $i$  と候補点  $j$  との移動距離  $d_{ij}$  が与えられているものとする。変数として、需要点  $i$  を候補点  $j$  への割当を表す 0-1 整数変数  $Y_{ij}$ 、候補点  $j$  に施設を配置する 0-1 整数変数  $X_j$  を

用いると、以下のような最適化問題として定式化できる。

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j X_j = p \quad (3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (5)$$

$$Y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (6)$$

$p$ -メディアン問題の結果は同時最適化(表 3-1)、逐次最適化(表 3-2)のようになり、ともに石巻や八戸、気仙沼といった沖合・遠洋漁業の基地となっている水揚量の多い都市の立地が見られ、岩手県南部から宮城県内に集中する傾向が見られる。同時最適化において、 $p=5$  以降は配置される施設に大きな変化が見られない。逐次最適化において、 $p=1, 4, 9, 10$  において同時最適化と同じ解が得られた。

### 3.4 $p$ -センター問題

各需要点から施設までの最大距離を最小とするように、 $p$  個の施設の配置及び各需要点の施設への割当を決定する問題である。需要の多寡は考慮しないため、 $p$ -メディアン問題と異なり輸送需要は用いない。最大距離  $W$ 、需要点  $i$  を候補点  $j$  への割当を表す実数変数  $Y_{ij}$  とし、その他は前節と同じ記号及び変数を用いると、以下のような最適化問題として定式化できる。

$$\text{Min} \quad W \quad (7)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_j X_j = p \quad (9)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$W \geq \sum_j d_{ij} Y_{ij} \quad \forall i \quad (11)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (12)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (13)$$

$p$ -センター問題の結果は同時最適化(表 3-3)、逐次最適化(表 3-4)のようになり、ともに輸送需要の多寡を考慮しないため、沿岸漁業・養殖業が主体で総水揚量の少ない岩手北部にある小規模の町村にも立地しており、三陸海岸沿いをほぼ等間隔に分散する傾向が見られる。同時最適化において、配置される施設に大きな変化が見られる。逐次最適化においては、既存施設間をほぼ中間に分散していることが分かる。

### 3.5 同時最適化と逐次最適化の比較

逐次最適化モデルと同時最適化モデルの比較として、それぞれの目的関数値の比(逐次/同時)を求める(図 3-3)。 $p$ -メディアン問題において、 $p=3$ (同時：八戸・大船渡・石巻、逐次：八戸・気仙沼・石巻)において大きな違いが見られるものの、 $p=9$  以降は同時最適化と一致する。一方、 $p$ -センター問題において、 $p=2$ (同時：普代・気仙沼、逐次：山田・南三陸)において2倍近く大きく、 $p=3, 6, 7$  以外の施設数において  $p$ -メディアン問題よりも値の違いが大きい傾向が見られる。

この結果から、モデルによって配置プロセスが異なり、 $p$ -メディアン問題では逐次に配置を行っても最終的には同時最適と同様の結果となるが、 $p$ -センター問題では予め施設数を設定した上で同時最適の配置を行った方がよいこととなる。

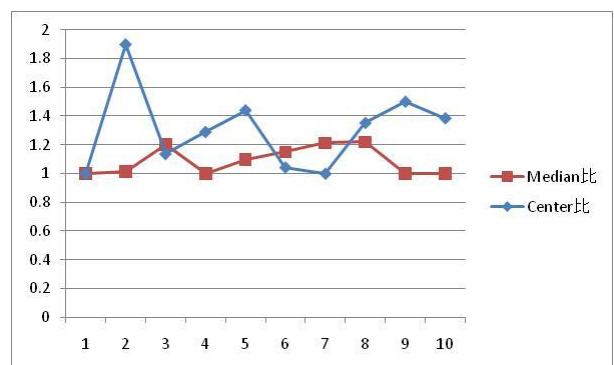


図 3-3 目的関数値の比

表 3-1  $p$ -メディアン問題の解（同時最適化）

同時最適	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
八戸市			○	○	○	○	○	○	○	○
階上町										
洋野町										
久慈市										
野田村										
普代村								○	○	○
田野畑村										
岩泉町										
宮古市		○			○	○	○	○	○	○
山田町				○					○	○
大槌町										
釜石市						○	○	○	○	○
大船渡市			○		○	○	○	○	○	○
陸前高田市										
気仙沼市	○			○	○	○	○	○	○	○
本吉町										
南三陸町							○	○	○	○
女川町										○
石巻市		○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 3-2  $p$ -メディアン問題の解（逐次最適化）

逐次最適	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
八戸市		○	○	○	○	○	○	○	○	○
階上町										
洋野町										
久慈市										
野田村										
普代村									○	○
田野畑村										
岩泉町										
宮古市						○	○	○	○	○
山田町				○	○	○	○	○	○	○
大槌町										
釜石市							○	○	○	○
大船渡市					○	○	○	○	○	○
陸前高田市										
気仙沼市	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
本吉町										
南三陸町							○	○	○	○
女川町										○
石巻市			○	○	○	○	○	○	○	○

#### 4. おわりに

本研究では、三陸沿岸を対象として、津波による水産加工・流通施設の被災状況を把握した上で、復興に向けた最適な施設配置及びそのプロセスについて分析を行った。

まず、水産加工・流通業に必要な不可欠である冷蔵倉庫の位置データを用いて、その大多数が津波浸水域内に立地しており、非常に大きな被害を受けていることを確認した。

表 3-3  $p$ -センター問題の解（同時最適化）

同時最適	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
八戸市				○			○			○
階上町					○			○	○	
洋野町						○				○
久慈市			○				○	○	○	○
野田村										
普代村		○			○	○				
田野畑村				○				○	○	○
岩泉町							○			
宮古市								○	○	○
山田町	○				○	○	○			
大槌町			○					○	○	○
釜石市				○						
大船渡市									○	
陸前高田市					○	○	○	○		○
気仙沼市		○								
本吉町							○		○	○
南三陸町			○	○		○		○	○	○
女川町					○	○		○	○	○
石巻市							○			

表 3-4  $p$ -センター問題の解（逐次最適化）

逐次最適	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
八戸市										○
階上町										
洋野町			○	○	○	○	○	○	○	○
久慈市								○	○	○
野田村										
普代村					○	○	○	○	○	○
田野畑村										
岩泉町										
宮古市										
山田町	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
大槌町										
釜石市									○	○
大船渡市				○	○	○	○	○	○	○
陸前高田市										
気仙沼市							○	○	○	○
本吉町										
南三陸町		○	○	○	○	○	○	○	○	○
女川町										
石巻市							○	○	○	○

更に、施設配置モデルを用いて、水産加工・流通施設に関する最適配置に関する分析を行い、 $p$ -メディアン問題では需要の多い都市に立地する集中した配置パターンが得られた一方、 $p$ -センター問題では等間隔に分散した配置パターンが得られた。逐次最適化モデルと同時最適化モデルの比較では、 $p$ -メディアン問題では目的関数値の違いが小さい一方、 $p$ -センター問題では大きな違いが見られた。



この結果から、 $p$ -メディアン問題では逐次に配置を行っても最終的には同時最適と同様の結果となるが、 $p$ -センター問題では予め施設数を設定した上で同時最適の配置を行った方がよいこととなる。このように施設配置問題におけるモデルにより配置パターンに大きな影響を与えることから、復興に当たっては目的に合致した適切なモデルを選択する必要があると言える。

今後の展開として、逐次最適化モデルの施設数の初期値を変化させることで、現存している施設を活用した復興シナリオに基づき、配置順序の評価を行うことが可能であると考えている。

## 参考文献

- 大澤義明(1996)：地域施設計画モデルにおける計画施設数と最適配置及び最適距離との関係。日本建築学会計画系論文集, 482, 165-174
- 国土交通省 (2006a)：国土数値情報，漁港データ (平成 18 年度)。
- 国土交通省 (2006b)：国土数値情報，土地利用細分メッシュデータ (平成 18 年度)
- 国土地理院(2011)：津波浸水範囲の土地利用，<http://www.gsi.go.jp/chirijoho/chirijoho40022.html> (2011/12 閲覧)
- 水産庁 (2011)：水産復興マスタープラン。
- 農林水産省 (2010)：2008 年漁業センサス。
- 農林水産省 (2011)：平成 20 年海面漁業生産統計調査。
- 日本冷蔵倉庫協会(2009)：全国冷蔵倉庫一覧 2009 年版。
- Daskin, M. S., 1995. *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*, Wiley-Interscience.
- Suzuki, T., Asami, Y. and Okabe, A., 1991. Sequential Location-allocation of Public Facilities in One- and Two-dimensional Space: Comparison of Several Policies, *Mathematical Programming*, 52, 125-146.