

メガターミナルオペレータを考慮した 港湾における防災投資行動分析

玉置 哲也¹・多々納 裕一²

¹学生員 京都大学大学院 情報学研究科 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail:tamaki@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学教授 防災研究所社会防災研究部門 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail:tatano@imdr.dpri.kyoto-u.co.jp

インフラ施設の中でも特に施設が機能停止することの影響が甚大かつ複雑となるものを重要インフラと呼ぶ。本研究では重要インフラの中でも特に港湾に着目する。複数の港湾間において取引のある場合、自港が直接的な被害を受けていなくても取引を行っている相手港が被害を受け機能停止に陥ることによって間接的に損害を被る場合がある。また、1990年代頃より船社間でのアライアンスやメガターミナルオペレータと呼ばれる各国の港湾に進出して事業を行うターミナルオペレータが出現している。つまり、港湾の管理・運営においてグローバル化が急速に進み、港湾が機能停止することによる影響が今まで以上に大きくかつ複雑なものになると予想される。そのため、アライアンスやメガターミナルオペレータといったものも考慮し、港湾における防災投資を把握していく必要性があると考えられる。

Key Words : *mega terminal operator, alliance, port, risk governance*

1. はじめに

近年、重要インフラというものが注目を浴びている。重要インフラとは他に代替することが困難なサービスを提供する施設やシステムなどであり、国民の生活や社会経済の基盤となるものである。逆にいえば、災害や事故、テロなどにより利用不可能な状況に陥った場合に国民や社会経済に多大な影響を及ぼす可能性を秘めている。例えば、1995年1月17日発生した阪神大震災によって受けた港湾の被害は、施設の被害のみでなく取引不能に陥ったことにより他の港湾に対しても多大なる影響を与えたり。このような重要インフラが機能停止に追い込まれる事態を避けるための枠組みを考えることは必要不可欠であるといえる。

本研究では重要インフラの一つである港湾に着目する。複数の港湾間において取引のある場合、自港が直接的な被害を受けていなくても取引を行っている相手港が被害を受け機能停止に陥ることによって間接的に損害を被る場合がある。また、近年世界中の港湾コンテナターミナルで民営化が進められており、港湾事業に港湾管理者だけでなく港湾の運営を行うターミナルオペレータや実際の荷役輸送を行う船会社がかかわっている。そのため、港湾事

業は複雑な管理・運営形態となっているのが現状である²。そして、1990年代ごろからは船社間でのアライアンスやメガターミナルオペレータと呼ばれる各国の港湾に進出して事業を行うターミナルオペレータが出現している。つまり、港湾の管理・運営においてグローバル化が急速に進み、港湾が機能停止することによる影響が今まで以上に大きくかつ複雑なものになると予想される。そのため、アライアンスやメガターミナルオペレータといったものも考慮し、港湾における防災投資を把握していく必要性があると考えられる。本研究では、港湾での防災投資問題を相互依存的な意思決定問題としてとらえ、ゲーム理論を用いて分析を行なう。その際、自港に母体を置くターミナルオペレータを考慮し、そのターミナルオペレータが他港に進出している場合とそうでない場合にどのような防災投資の違いが生じるかを示す。そして、ターミナルオペレータが進出しなかった場合において実際の投資額が社会的に望ましい投資に対して過大投資、もしくは過少投資になっている場合に、ターミナルオペレータが複数の港湾に進出することでその過大投資や過少投資が軽減されることを示す。

2. 研究の概要

今回は特に相互依存的な港湾が3つしか存在しないと想定した上で、自港に母体を置くターミナルオペレータが他港にも進出している場合について、各々の港湾における防災投資について分析を行う。ターミナルオペレータが相手港に進出しているとき、相手港が被災した場合には自港は間接的な被害を受けるのみでなく、進出しているターミナルオペレータへの直接的な被害も考慮する必要がある。つまり、自港のターミナルオペレータが他港に進出している港湾では防災投資費用が増加し、他港のターミナルオペレータに進出されている港湾では防災投資費用が減少することを示し、3港間でのモデルにおいては社会的に望ましい投資に近づくことを示す。

3. 防災投資行動の解析

(1) モデルの前提条件

ここでは、お互いに物流の取引を行っている三つの港を想定する。現実では多くの港が存在しており、相互に取引を行っているが、本研究ではターミナルオペレータが他港に進出している影響を明確に表現するため、簡易な場合を取り上げて分析する。三つの港をそれぞれ、港1、港2、港3とする。各々の港を管理している国は異なることを仮定し、それぞれの国において防災投資の水準を決めるものとする。港*i* (*i*=1,2,3)を管理する国の防災投資の水準に関して防災投資水準 k_i ($0 \leq k_i \leq 1$)を決定することができるとし、投資費用 $C_i(k_i)$ に関して

$$\frac{\partial C(k_i)}{\partial k_i} \geq 0, \quad \frac{\partial^2 C(k_i)}{\partial k_i^2} \geq 0 \quad (1)$$

$$C(0) = C(1) = 0, \quad C'(0) = 0, \quad C'(1) = \infty \quad (2)$$

であることを仮定する。また、港*i*はそれぞれ港湾の機能停止に追い込まれるような地震リスク r ($r \ll 1$)にさらされているものとし、その発生確率を $(1-k_i)r$ であらわす。港*i*が被災した場合、その港湾施設が損害を受ける。ここで、国や港湾管理者などが負担するこの港湾の修復にかかるコストを L_i とする。また、港*i*が被災することで港($j=1,2,3, i \neq j$)との取引が停止する。こうした国際物流が停止することによるそれぞれの国の損害のうち、損害を被った港のなかで運営を行っているターミナルオペレータが被る損害をそれぞれ Q_i 、それ以外への損害をそれぞれ M_i で表すものとする。港*i*は防災投資費用と期待被害額の和を最小にするように防災投資水準を決定する。この和のことを以下ではリスクコストと呼び、港*i*のリスクコストを $RC_i(k_1, k_2, k_3)$ とおく。

また三つの港について、港2と港3は取引をしておらず、港1が機能停止した場合は他の二つに被害が連鎖拡大するが、港2や3が機能停止した場合は港1にしか被害が発生しないような状況を考える(図1)。つまりこの場合は港2と港3が代替関係にある。そして、港1に母体を置くターミナルオペレータが港2、港3に進出していると、そのときの港2、港3において運営を行っているターミナルオペレータのうち、港1に母体多くオペレータの割合をそれぞれ α, β とする。

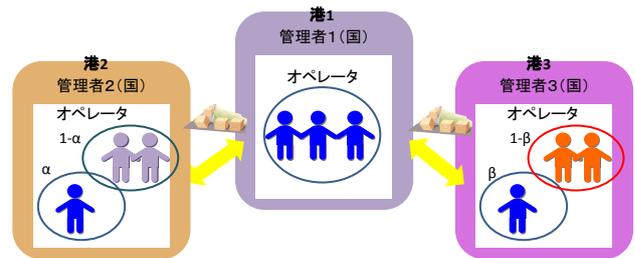


図-1 3港間での防災投資モデル

(2) 3港間での防災投資行動モデル

まず、港1のリスクコストの定式化をする。港1は自港の防災水準を決定することで、自港が機能停止に追い込まれる可能性は $(1-k_1)r$ となる。よって、自港が機能停止することによる自港の期待被害額は $(1-k_1)r(L_1+M_1+Q_1)$ となる。ただし、港1の期待被害額はそれだけではとまらない。なぜなら、港1に母体を置くターミナルオペレータが港2、港3にも進出しているからである。つまり、自港が機能停止することで相手港も取引を行えないことによる損害を被っているが、その損害の一部は進出している自港を母体とするターミナルオペレータも被っている。そしてその期待被害額は $(1-k_1)r\alpha Q_2$ 、 $(1-k_1)r\beta Q_3$ で表される。また相手の港2、港3が機能停止する確率はそれぞれ $(1-k_2)r$ 、 $(1-k_3)r$ となるので、港2、港3が機能停止することによる港1の期待被害額はそれぞれ $(1-k_2)r\alpha Q_2$ 、 $(1-k_3)r\beta Q_3$ となる。次に港2のリスクコストについて考える。港2は自港の防災水準を決定することで機能停止に追い込まれる確率は $(1-k_2)r$ となる。港1からターミナルオペレータが進出していることを考慮すると自港が機能停止することによる期待被害額は $(1-k_2)r[M_2+(1-\alpha)Q_2]$ となる。そして、相手の港1、港3が機能停止する確率はそれぞれ $(1-k_1)r$ 、 $(1-k_3)r$ となるので、港1、3が機能停止することによる港2の期待被害額はそれぞれ $(1-k_1)r[M_2+(1-\alpha)Q_2]$ 、 $(1-k_3)r(M_3+Q_3)$ となる。港3については港2と同様に考えればよい。

ここで港*i*のリスクコスト $RC_i(k_1, k_2, k_3)$ は、各港の防

災投資戦略(k_1, k_2, k_3)を所与としたとき以下のように表される。

$$RC_1(k_1, k_2, k_3) = C_1(k_1) + (1-k_1)r(L+M_1+Q_1+\alpha Q_2+\beta Q_3) + (1-k_2)r(\alpha Q_2-\beta Q_3) + (1-k_3)r(\beta Q_3-\alpha Q_3) \quad (3)$$

$$RC_2(k_1, k_2, k_3) = C_2(k_2) + (1-k_2)r[L+M_2+(1-\alpha)Q_2] + (1-k_1)r[M_2+(1-\alpha)Q_2] - (1-k_3)r[M_3+(1-\alpha)Q_3] \quad (4)$$

$$RC_3(k_1, k_2, k_3) = C_3(k_3) + (1-k_3)r[L+M_3+(1-\beta)Q_3] + (1-k_1)r[M_3+(1-\beta)Q_3] - (1-k_2)r[M_2+(1-\beta)Q_2] \quad (5)$$

このとき、各港の防災投資水準は、ナッシュ均衡解(k_1^*, k_2^*, k_3^*)として

$$RC_1(k_1^*, k_2^*, k_3^*) = \arg \min_{k_1} RC_1(k_1, k_2^*, k_3^*) \quad (6)$$

$$RC_2(k_1^*, k_2^*, k_3^*) = \arg \min_{k_2} RC_2(k_1^*, k_2, k_3^*) \quad (7)$$

$$RC_3(k_1^*, k_2^*, k_3^*) = \arg \min_{k_3} RC_3(k_1^*, k_2^*, k_3) \quad (8)$$

で表される。

これらを解くことで導出された解を(k_1^*, k_2^*, k_3^*) = ($k_{1n}^*, k_{2n}^*, k_{3n}^*$)とする。

一階条件を満たす解がナッシュ均衡解となり

$$C_1'(k_{1n}^*) = r(L+M_1+Q_1+\alpha Q_2+\beta Q_3) \quad (9)$$

$$C_2'(k_{2n}^*) = r[L+M_2+(1-\alpha)Q_2] \quad (10)$$

$$C_3'(k_{3n}^*) = r[L+M_3+(1-\beta)Q_3] \quad (11)$$

となる。

(3) 社会的に最適な防災投資行動モデル

ここで、ターミナルオペレータを考慮しない場合および、社会的最適な防災投資水準の場合との比較を行う。ここでいう社会的最適な場合とは全ての港の負担する費用の和の最適な状態を指す。よって今回の3港間モデルでの社会的費用 $SC(k_1, k_2)$ は、

$$SC(k_1, k_2, k_3) = \sum_{i=1}^3 RC_i(k_1, k_2, k_3) \quad (12)$$

と表すことができる。

そして、社会的に最適な防災投資水準は、

$$SC(k_1^*, k_2^*, k_3^*) = \min_{k_1, k_2, k_3} SC(k_1, k_2, k_3) \quad (13)$$

により導かれる。

この一階条件を考えると、

$$\frac{\partial SC(k_1, k_2, k_3)}{\partial k_1} = 0 \quad (14a)$$

$$\frac{\partial SC(k_1, k_2, k_3)}{\partial k_2} = 0 \quad (15a)$$

$$\frac{\partial SC(k_1, k_2, k_3)}{\partial k_3} = 0 \quad (16a)$$

となる。ここで、これを解くことで導出される解を(k_1^*, k_2^*, k_3^*) = ($k_{1s}^*, k_{2s}^*, k_{3s}^*$)とする。つまり、一階条件を満たす解が社会的均衡解となり、

$$C_1'(k_{1s}^*) = r(L+M_1+Q_1+\alpha Q_2+\beta Q_3) + r[M_2+(1-\alpha)Q_2] + r[M_3+(1-\beta)Q_3] = r(L+M_1+Q_1+M_2+Q_2+M_3+Q_3) \quad (14b)$$

$$C_2'(k_{2s}^*) = r(\alpha Q_2-\beta Q_3) + r[L+M_2+(1-\alpha)Q_2] - r[M_2+(1-\beta)Q_2] = rL \quad (15b)$$

$$C_3'(k_{3s}^*) = r(\beta Q_3-\alpha Q_3) + r[L+M_3+(1-\beta)Q_3] - r[M_3+(1-\beta)Q_3] = rL \quad (16b)$$

と表される。

(4) まとめ

ここで、ターミナルオペレータを考慮しない場合と考慮する場合との比較を行う。まず、港湾1について考えてみよう。今井ら²⁾によるとターミナルオペレータを考慮しない場合の港1のナッシュ均衡解は $C_1(k_{1n}^*) = r(L+M_1+Q_1)$ である。そして、社会的に最適な防災投資水準は(3)において前述したように $C_1'(k_{1s}^*) = r(L+M_1+Q_1+M_2+Q_2+M_3+Q_3)$ と示すことができる。ターミナルオペレータを考慮する場合、考慮しない場合とともに社会的に最適な投資水準と比較して過少な投資となっているといえるが、ターミナルオペレータを考慮することにより過少投資がいくらか改善されていることが分かる。また、港2についてもターミナルオペレータを考慮しない場合のナッシュ均衡および社会的最適な解は $C_2'(k_{2n}^*) = r(L+M_2+Q_2)$, $C_2'(k_{2s}^*) = rL$ と表すことができる。そして、ここではターミナルオペレータを考慮する場合、しない場合において、ともに社会的に最適な防災投資水準よりも過大な投資となっていることが分かる。しかし、ターミナルオペレータを考慮することで、この過大投資がいくらか改善されていることがわかる。港3についても同様である。

4. おわりに

本論文では、重要インフラの一つである港湾における防災投資問題にターミナルオペレータを導入することで、より現実に近いモデルを検討した。得られた結論は以下のとおりである。

2つの港が代替関係にある3港間での防災投資モデルでは、その2つの港と取引を行う港1においては社会的に最適な防災投資に比べて過少な投資になることがわかっている。それに対して、代替関係にある港湾においては社会的な防災投資に比べて過大な投資になっている。この状況において港1に基盤を置くターミナルオペレータが港2、港3に進出している場合を考える。その場合、表1にあるように港1においては幾分か過少投資が改善されており、港2、港3においては過大投資も幾分か改善されることが示された。これは、ターミナルオペレータを考慮していない場合には、それぞれの港が自港に最適な投資のみを考えて行動していたことに対し、ターミナルオペレータが他港に進出した場合には、進出している港への影響もいくらか考慮に入れて投資を行うようになったためである。

今後の課題としては、複数のターミナルオペレータを導入することである。現実にはターミナルオペレータ間での競争が行なわれているはずであり、ターミナルオペレータがどの港湾に進出し、どのように共存しているかは重要な問題である。そこでターミナルオペレータが港に進出するか否か検討することから議論をはじめるとともに、ターミナルオペレータ間の競争をとりいれていく

ことが不可欠であるといえる。

表1 防災投資費用C(ki)の一階条件の比較

	港1	港2	港3
ターミナルオペレータなし	$r(L_1+M_1+Q_1)$	$r(L_2+M_2+Q_2)$	$r(L_3+M_3+Q_3)$
ターミナルオペレータあり	$r(L_1+M_1+Q_1 + \alpha Q_2 + \beta Q_3)$	$R[L_2+M_2 + (1-\alpha)Q_2]$	$R[L_3+M_3 + (1-\beta)Q_3]$
社会的な最適解	$r(L_1+M_1+Q_1 + M_2+Q_2 + M_3+Q_3)$	rL_2	rL_3

参考文献

- 1) 兵庫県災害対策特別委員会：阪神淡路大震災における被害および応急復旧対策について 1995
- 2) 石原伸志、合田浩之：コンテナ物流の理論と実際(成山堂書店)
- 3) 今井瑛介、多々納裕一、吉田護：重要インフラにおける防災投資分析(土木計画学研究・講演集 2009)

(2011.5 受付)