

## 地震災害が港湾活動へ与える長期的影響に関する事後評価\*

### Analysis of Long-term Effects on Port Activities by Earthquake Disasters\*

梶谷 義雄\*\*, 多々納 裕一\*\*\*, 岡田 憲夫 \*\*\*

By Yoshio KAJITANI \*\*, Hirokazu TATANO \*\*\* and Norio OKADA \*\*\*

#### 1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は公共・公社188バース中179バースが使用不能という大被害を神戸港港湾施設にもたらした。しかも被害は施設のみに留まらず、日本一を誇っていた貨物取扱量がいまだに震災以前の水準に回復していないなどの間接的な被害をもたらしている。

災害の総合的な被害影響把握あるいは被害の計量化の観点では、こうした貨物取扱量に見られるような被害影響が、果たして一時的なものであるのか、もしくは今後も続く長期的なものであるかを検討する必要がある。

兵庫県南部地震の港湾活動への事後影響評価は、藤本<sup>1)</sup>、Chang<sup>2)</sup>らによって詳細に行われ、有益な結果が得られている。しかし、これまで行われてきた災害の事後評価は、時系列データをプロットすることによる直感的なアプローチに依拠していることがほとんどである。このアプローチのみではスケールの単位当たりの大きさに左右され、微妙な振幅の変化などが本当に重要であるかを判断することが難しい。このような背景を踏まえ、本研究では被害影響の長期性を客観的に判断できるような科学的分析手法を提案し、兵庫県南部地震を対象にその実証分析を行うことを目的とする。この際、時系列モデルを用いたアプローチの近年の発展を考慮して、震災の港湾貨物取扱量への長期的な影響を検出する方法として適用する。

#### 2. 分析手法

##### (1) 震災の長期的影響と構造変化

被害影響が長期にわたって残存する大きな原因として、国内・国外を含めた港湾経済の震災を契機とする構造変化が考えられる。物流ルートの変化、背後圏の経済活動の変化等によりもたらされる港湾経済の構造変化は当然貨物取扱量などの経済指標にも反映される。そこで、本研究では貨物取り扱いルートの変化等の実経済活動に現れる具体的な諸影響を分析する代わりに、経済指標の時系列モデルに反映されるモデル構造、パラメーターの変化を検定するアプローチをとる。例えばAR(1)モデルにおいて構造変化は以下のように表される。

$$X_t = C + \alpha X_{t-1} + \beta t + \epsilon_t \quad (1)$$

$$X_t = C + \Delta C + (\alpha + \Delta\alpha)X_{t-1} + (\beta + \Delta\beta)t + \epsilon'_t \quad (2)$$

ここで、式(1)、式(2)は事前、事後の時系列モデルであり、モデル中の $C$ は定数項、 $t$ は一次のタイムトレンド、 $\epsilon_t \sim N(0, \sigma)$ 、 $\epsilon'_t \sim N(0, \sigma + \Delta\sigma)$ はそれぞれ事前と事後の誤差項を表す。 $\epsilon_t \sim N(0, \sigma)$ は誤差項が平均値0分散 $\sigma$ で正規分布していることを意味する。そして、 $\Delta C$ 、 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ 、 $\Delta\sigma$ のどれかの存在が統計学的に有意であるとき、構造変化が起こっていると定義される。ただし、事前、事後の時系列は構造変化点を含んでいないことが条件であり、本研究ではこれを事前・事後の安定期と呼ぶ。時系列の特徴で分類すると、この安定期は定常あるいは発散することのない非定常過程に分類される。図1は安定期にある時系列が震災後、復旧活動などに左右されながらパラメーターが刻一刻と変化する過渡期を経て、事後の安定期に移行している様子を表している。この過渡期と安定期を分別する方法論は2-(2)で述べるが、本研究では基本的に災害影響の長期性に関する視点から表1のように構造変化の種類を分類・定義する。ここで、被害影響が長期的であるとは

\*キーワード：構造変化、事後評価、単位根検定、共和分析

\*\*学生員 京都大学大学院工学研究科 博士課程

(〒606-01 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5070)

\*\*\*正員 工博 京都大学防災研究所

(〒611 宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4308, Fax 0774-38-4044)

表1: 震災影響のパターン

パターン	震災前	過渡期	震災後	パラメーターの変化	構造変化	震災の影響
1	定常	無	定常	なし	なし	なし
2	定常	有	定常	なし	なし	短期的
3	定常	有	定常	あり	あり	長期的
4	定常	有	非定常	あり	あり	-
5	非定常	無	非定常	なし	なし	なし
6	非定常	有	非定常	なし	なし	短期的
7	非定常	有	非定常	あり	あり	長期的

事前の安定期と事後の安定期におけるパラメーターギャップの存在が統計的に有意であることと定義される。また、表1で分類された震災影響の特徴は以下のように説明することができる。

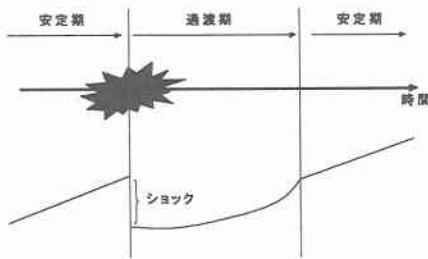


図1: 地震災害に伴う時系列の過渡期・安定期

- パターン 1, 2, 3: 震災前の安定期にある時系列が震災により急激な変化を起こし、新たな安定な過程に収束していった結果、パラメーターがどのように変化しているのかを調べるのが、大きな目的となる。
- パターン 4: 安定な過程にあった時系列が震災により変化を起こし、まだ変化過程にあると考えられる
- パターン 5,6,7: 過渡期を含んだ時系列が非定常と判定される可能性が高いため、(3)a)で述べる単位根検定のみで過渡期と安定期を分離することは難しい。時系列構造自体の安定性が問題となるため、選択した期間と時系列における誤差の検定を十分に行うことが必要である。基本的にパターン 1,2,3 と同じ分析プロセスを行う。

(2) 長期的影響分析のための検定プロセス

表1のように被害影響のパターン进行分类するためには、ステップごとに統計学的検定を繰り返し行うことが必要となる。そのためのプロセスとして図2のような検定プロセスを用いた。これは図1における2つの安定期を抽出し、モデルパラメーター変化

を検定した後、被害影響を計量化するプロセスである。まず、事前の安定期において定常・非定常に関する検定を行った後、時系列モデルを構築する。そして過渡期の存在に関する検定を行い、もし過渡期が存在しなければ震災の影響はないものとして、その後のステップは省略できる。震災後の時系列が安定期に収束したかどうかは、ステップ3の定常・非定常に関する検定及び、推定した安定期のモデルの診断を行うことにより決定することができる。また、過渡期は二つの安定期を抽出することにより決定できる考えることができる。

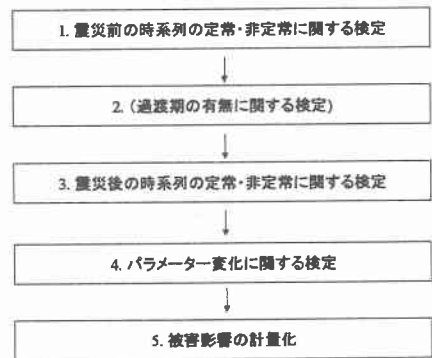


図2: 長期的被害影響計量化のための検定プロセス

(3) 本研究で用いる統計学的検定方法

時系列モデルが安定期に収束したかどうかを判断する一つのポイントは、モデル決定の際に震災前の時系列が定常過程にあるのか非定常過程であるかを調べ、震災後しばらくして震災前と同じ時系列の派生過程に戻ったかどうかを検討することである。定常過程が発散することのない非定常過程かを検定するためには単位根検定と呼ばれる特別な検定方法が必要となる。

a) 単位根検定

単一変数の定常・非定常性に関する検定方法として単位根検定が挙げられる。為替市場の変動など経済の諸分野において、経済時系列が単位根を含むかどうかは合理的期待理論の立場から大きな関心が集められてきた。Dickey-Fuller 検定 (DF 検定) をはじめとする単位根検定は時系列がこの単位根部分を含むかどうかを検定するためのもので、例として次

式で表される。

$$H_0 : X_t = C + X_{t-1} + \beta t + \epsilon_t \quad (3)$$

$$H_1 : X_t = C + \alpha X_{t-1} + \beta t + \epsilon_t \quad |\alpha| < 1$$

ここで  $X_t$ ,  $C$ ,  $\epsilon_t$  はそれぞれ貨物取扱量, 定数項 (ドリフト項), 誤差項を表し,  $\alpha, \beta$  は1次のラグを持つ貨物取扱量と1次のタイムトレンドに対するパラメータを表す。そして帰無仮説は単位根を含む発散しない非定常過程となり, 逆に対立仮説は定常過程となる。単位根過程とは過去の影響が将来までも永続的に続く時系列のことで, その意味合いは確定的な要素が占める割合の大きい対立仮説と大きく異なる<sup>3)</sup>。従って, この単位根検定を震災後の時系列にステップワイズに適用することにより, 震災後の時系列がもとの時系列の派生過程に収束したかどうかに関する検討をまず行う。

### b) 共和分検定

前述の単一時系列に対し, 複数の時系列変数間に安定的な関係が存在するかどうかを検定する方法として共和分検定が挙げられる。共和分の理論は Engle and Granger<sup>4)</sup> によって発展をみた。時系列  $x_t$  の階差をとったときの  $\Delta x_t = x_t - x_{t-1}$  が定常な時系列であるとき (階差定常であるとき), 時系列  $x_t$  は「次数1で和分されている, もしくは  $I(1)$  である」という。ここで,  $y_t \sim I(1)$  かつ  $x_t \sim I(1)$  であると仮定する。もし  $y_t - \beta x_t$  が  $I(0)$  であるような  $\beta$  が存在するとき,  $y_t$  と  $x_t$  は共和分されているという。これは  $x_t$  と  $y_t$  が時間を超えて互いにドリフトするようないわゆる「見せかけの回帰」ではなく, パラメータ  $\beta$  に超一貫性 (Superconsistency) があることを意味している。そこでこの共和分の理論を用いることにより, 不安定な単位根過程にある変数間に存在する安定関係を検定し, 震災によるその構造の変化を調べる。また, 多変数間の共和分関係を見つける方法としては Johansen<sup>5)</sup> による方法が挙げられる。

### (4) パラメータの変化に関する検定

パラメータの変化に関する検定として, Chow 検定<sup>6)</sup>を援用する。Chow 検定は図2の検定プロセスにおけるステップ2に相当する。つまり, この検定は実際にパラメータの変化がどう変わったかではなく, あるかないか分からないような構造変化の有無を検定する方法であるといえる。これに対し, ス

表2: 神戸港月次データ単位根結果

	モデル	輸出	輸入	トランシップ	移出	移入
震災前	Cのみ	-10.2*	-7.3*	-7.86*	-6.78*	-8.21*
	C+βt	-9.62*	-6.37*	-7.81*	-7.46*	-8.05*
震災後	Cのみ	-7.12*	-6.21*	-1.46	-2.17	-2.316
	C+βt	-6.82*	-4.96*	-0.4945	-0.63	-0.589

\*は5%の有意水準で  $H_0$  が棄却されることを要す

テップ4では事前と事後の安定期においてパラメータの変化が有意であるかを検定する方法をとる。

### 3. 分析例1: 神戸港月次データ

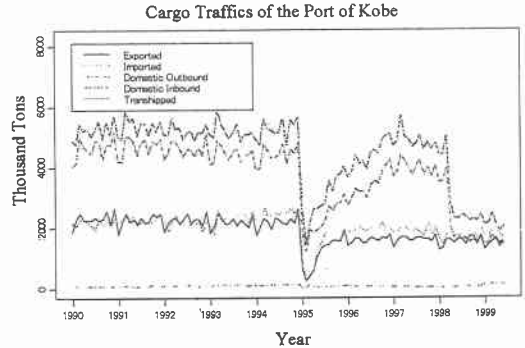


図3: 神戸港貨物取扱量1990年1月-1999年6月

月次データを用いた神戸港への震災影響のプロトタイプ的分析を行う。ただし, 図2のステップ2ここでは省略する。全データを1990年1月から1994年までの期間と震災後一年が経過した1996年1月から1999年6月までの二つの期間に分類し, 単位根検定を行った。単位根検定は, 式(4)において, 定数項  $C$  のみの場合, 一次のタイムトレンドを加えた  $C + \beta t$  の場合を考えた。その結果を表2に示す。後半のデータは震災後1年のデータとしたが, 収束状況を判断するためにはステップワイズにデータ分割ポイントを決定することが必要である。表2より, 全てのデータが震災前に定常過程にあり, 輸出, 輸入の外国貿易貨物は震災後一年後には時系列が定常過程に収束していることが分かる。それに比べ, 他国と競争関係にあるトランシップ貨物, 明石海峡大橋の建設により様々な影響を震災後も受けていると予想される内貿貨物は単位根仮説が棄却されなかった。従って, トランシップ貨物, 内貿貨物は震災後一年を経過してからはまだ不安定な変化過程にあると考えられる。

次に, 定常過程に収束している外貿貨物について図2のステップ4. パラメータの変化に関する検定

表 3: 震災後のパラメーターの変化分

		F 値	P 値
$\Delta C$	-996359	2376*	0
$\Delta\alpha$	0.178	1.224	0.276
$\Delta\beta$	569	0.106	0.746

を行う。タイムトレンドを含めたときの震災前のデータにおけるパラメーターの推定を行った結果、式(5)、(6)が得られた。

$$X_t = 3003877 - 0.308X_{t-1} - 3290t + \epsilon_t \quad (5)$$

$$(3.88) \quad (5.40)$$

$$\epsilon_t \sim N(0, 180567) \quad (6)$$

括弧内の値は分散分析検定から得られたF値であり、 $H_0: \alpha = 0$ のP値が0.00535となっている。しかし、有意水準5%をわずかに上回っているだけであるため、 $X_{t-1}$ の項を用いることとした。震災後のデータからパラメーター変化を推定するためには、式(2)に示されるように震災後において震災前からの変化分 $\Delta C$ 、 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ の存在が有意であるかどうかを検討する必要がある。

表3より、震災後は定数項のみ時系列のパラメーターが変化している。 $\Delta C$ のみを残して、もう一度パラメーター変化を推定し直すと定数項の減少は66756となり、長期的にこの定数項の減少が残留する。

以上のようなプロセスにより図2に基づいた被害の長期性の検定、計量化が行えることが示された。

#### 4. 分析例2：国内五大港年次データ

Johansen型共和分析を用いて、わが国の主要港湾間に長期的な安定関係が存在しているかどうかを検定する。検定の結果、移入貨物、コンテナ輸出貨物以外に五大港間の長期的な安定関係の存在を確認することができた。この共和分関係式に対し、Chowの検定を適用した結果、輸入を除く全ての項目において、1%水準で構造変化の存在が有意となった。今後、どのような構造に変化したかなどの検討が必要である。

#### 5. おわりに

本研究ではまず、長期的被害影響を検討するために必要な統計学的な検定プロセスを提案した。定常

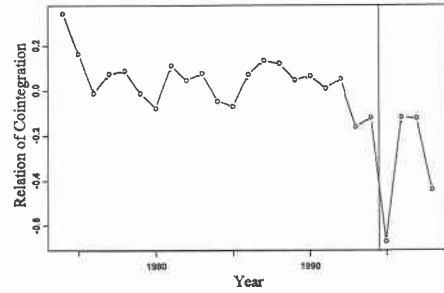


図 4: 五大港港貨物取扱総量の共和分関係

過程にあった神戸港月次データと非定常過程にあった国内五大港年次データ貨物取扱量へこのプロセスを適用し、プロトタイプ的な被害の長期的影響に関する分析を行っている。分析の結果、震災の被害が神戸港のみではなく、国内他港湾及び五大港間に存在していた安定関係に影響を及ぼしていることが分かった。ただし、ここでいう安定関係とはあくまで国内五大港湾間における統計学的な意味での安定関係であって、それが港湾経営政策の結果なのか、競合関係の結果なのかは定かではない。また、神戸港外貿貨物は過渡期を経て新たな安定期に収束しており、今後も長期的に被害影響が続くと予想される。今後、神戸港背後域経済圏の被害影響を併せた分析を行っていきいたい。

#### [参考文献]

- 1) 藤本建夫 編：阪神大震災と経済再建，勁草書房，1999。
- 2) Chang, S. E. : Disasters and Transport Systems: Loss, Recovery and Competition at the Port of Kobe After the 1995 Earthquake, Journal of Transport Geography, 8, pp53-65, 2000.
- 3) Maddala, G.S. and Kim, I. : Unit Roots, Cointegration and Structural Change, Cambridge, 1998.
- 4) Engle, R.F. and Granger, C.W.J : Cointegration and Error Correction : Representation, Estimation and Testing, Econometrica, Vol.55, No.2, pp251-276, 1987.
- 5) Johansen, S. : Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models, Oxford University Press, 1995.
- 6) Chow, G. C. : Test of Equality Between Subsets of Coefficient in Two Linear Regression Models, Econometrica, pp591-605, 1960.