

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500226

研究課題名(和文) 情報セキュリティの相互依存性に関する経済分析

研究課題名(英文) Economic Analysis about Interdependency of Information Security

## 研究代表者

田中 秀幸 (HIDEYUKI TANAKA)

東京大学・大学院情報学環・教授

研究者番号：30332589

## 研究成果の概要(和文)：

本研究では、情報セキュリティ・インシデントの相互依存性に着目した経済的影響を定量的に明らかにすることを目的とする。定量的に明らかにするための手法を提案し、日本の産業に適用した。その結果、情報システムへの依存度や情報セキュリティ対策の水準を加味することで、情報セキュリティ・インシデントの波及効果は、経済的相互依存性だけを考慮する場合とは異なることなどを明らかにした。

## 研究成果の概要(英文)：

This research aims to verify setoral and regional interdependency of Japanese industries under the influence of information security risks from the viewpoint of economy. The researcher proposes a methodology to quantitatively measure interdependency of information security among Japanese industries. The research applies this methodology in the recent Japanese economy and exhibits differences between information security interdependency and pure economic interdependency.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
-年度	-	-	-
-年度	-	-	-
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 図書館情報学・人文社会情報学(B)

キーワード：情報セキュリティ、情報経済、産業連関

## 1. 研究開始当初の背景

情報セキュリティに関する学融合的な分野は、従来、理論モデルの提示やシミュレーション研究が中心であり、現実社会で実際に生じた定量的なデータに基づく実証研究の充実が求められている。これまでのところ、そのような実証研究は、株価等で計測する企

業価値に関する研究や効果的なセキュリティ対策に関する研究など企業レベルの研究が中心となっていた。

他方で、サプライ・チェーン・マネジメントの浸透などによって、企業の境界を越えたビジネス・プロセスが構築される中で、情報セキュリティの相互依存性が高まっている。

すなわち、ある企業の情報セキュリティ対策レベルやインシデントの可能性は、当該企業にとどまらず、他企業や他地域に影響する可能性が高まっていた。こうした状況の中では、個別企業レベルにとどまらない、相互依存性を考慮した経済的な影響を分析することが重要であった。

## 2. 研究の目的

前項で説明したとおり、情報セキュリティの相互依存性を考慮した経済分析が求められているにもかかわらず、かかる分析は国際的に見てほとんど行われていなかった。研究開始当時の数少ない先行研究としては、Andrijcic and Horowitz(2006)があげられる。この研究は、米国産業を対象として他国による知的財産の侵害があった場合の損害額を産業連関表を用いて計測するものである。ただし、この研究は、情報セキュリティのうちの知的財産権侵害に限定された研究であるほか、産業連関分析としても需要減少による影響のみを扱っており、産業レベルのIT依存度、セキュリティ対策レベル、インシデント発生比率の差違や地域間の相互依存的な関係などが考慮されていないなどの限界を有している。

そこで、本研究では、申請者による情報セキュリティの経済分析等に関するこれまでの研究成果を発展させ、情報セキュリティ・インシデントの相互依存性による経済的影響に関する実証分析を充実させることを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、情報セキュリティ・インシデントの相互依存性に着目した経済的影響を定量的に明らかにするため、主に、2つの視点から取り組んだ。

第1は、日本国内における産業部門間の情報セキュリティ・インシデントの波及効果である。そのために、まず、産業別のICT依存度やセキュリティ対策程度を考慮した経済波及モデルを考察する。基本的には、産業連関分析における後方連関効果及び前方連関効果の考え方を応用した推計モデルを構築する。次に、当該経済波及モデルを2000年産業連関表に当てはめ、各産業分野の情報セキュリティ・インシデントの波及効果を推計する。

また、産業部門間の相互依存性については、時系列変化の分析も行う。これにより、情報セキュリティ・インシデントの経済的影響に関する相互依存的な構造がどのように変化しているのかを明らかにする。

第2は、情報セキュリティ・インシデントの地理的な波及効果である。そのために、ま

ず、2005年の地域間産業連関表(全国9ブロック)に基づき、前項で構築した経済波及モデルを適用して、地域別・産業別の波及効果を推計する。

## 4. 研究成果

### (1) 本研究で考案した分析手法

本研究では、相互依存性の定量的分析の方法として、Haines et al.(2005a, b)が提案するIIM(Inoperability Input-Output Model)と言われる、産業連関表を用いた手法を拡張するモデルを考案した。本研究の基礎と成る部分であることから、やや詳しく説明する。

まず、前提としてIIMについて簡単に紹介する。IIMでは、ある部門の操業が停止した場合の影響を(1)式により投入産出モデルに反映させる。

$$C_j^* = P_i * U_{ij} / U_{i, max} \quad (1)$$

$C_j^*$ :  $j$ 部門が  $i$ 部門の操業停止により受ける被害

$P_i$ :  $i$ 部門財が同財最大利用部門に与える被害の程度(例:当該部門の生産を  $x\%$ を減少させる)

$U_{ij}$ :  $j$ 部門による  $i$ 部門財の利用量

$U_{i, max}$ :  $i$ 部門財の最大利用部門における  $i$ 部門財の利用量

$$0 < C_j^* < 1$$

情報セキュリティの相互依存性の定量的分析に当たり、IIMで問題となるのは2点ある。第1は、情報セキュリティという具体的問題に適用するには、(1)式が一般的である点である。各部門ごとに  $P_i$ をいかに導出するか、又は、仮定するかについての検討が必要になる。第2は、 $i$ 部門の中間投入にのみ着目して、損害額の算定を基本とする影響や波及効果の分析にとどまっている点である。これまでは、 $i$ 部門の中間需要が減少することの影響までは必ずしも考慮されていない。産業部門間の相互依存性を定量的に把握するためには、中間投入のみならず、中間需要の影響も明らかにすることが必要である。

そこで、本研究では、IIMの第1の拡張として、情報セキュリティという具体的問題を対象として、利用可能な統計データに基づき、定量的に反映する方法を検討する。検討の前提として、本研究では分析対象を情報システムと直接に関係する影響に限定する。基本的には、企業間通信網やインターネットを用いた商取引を通じた相互依存性が分析対象となる。具体的には、情報セキュリティの影響を2つの側面から反映する。第1は、情報システムへの依存度であり、第2は、情報セキュリティ対策の水準である。(1)式の  $C_j^*$ に変わるものとして、(2)式で示す  $IS_{ij}$ を投入産出の取引額表の各取引額に適用する。 $IS_{ij}$ は、 $i$ 部門と  $j$ 部門の取引における、情報セキュリティ対策を考慮した上での情報システム

への依存度を示す。

$$IS_{ij}=F(T_i, T_j, S_i, S_j)$$

ただし、

$T_i$ :  $i$  部門の情報システムへの依存度

$S_i$ :  $i$  部門の情報セキュリティ対策の水準

Haines et al. (2005b)との相違点は、第 1 に、(1)式の  $U_{i,max}$  で考慮されている相対的な影響度は後述する前方連関効果又は後方連関効果での計測にゆだねていることにある。そして、第 2 に、 $C^*_j$  は中間投入への適用を前提としていたが、本研究の  $IS_{ij}$  は中間投入のみならず中間需要に対しても適用する点が異なる。

本研究による IIM の第 2 の拡張は、ある産業部門の中間投入のみならず中間需要も対象とした相互依存性の分析である。両方の影響を反映するために、Harshman (1958:1988, Chap. 6) により提示された前方連関効果 (FL) と後方連関効果 (BL) の考え方を用いる。これらの効果は、ある部門からみて、川上部門又は川下部門との連関の度合いを示す指標であり、FL は川下部門、BL は川上部門との連関を反映する。J 部門の前方連関効果 (FL(-j)) と後方連関効果 (BL(-j)) は、それぞれ (3) 式及び (4) 式で算出される (Dietzenbacher and Linden, 1997)。

(前方連関効果)

$$FL(-j) = [x' - x(-j)'] / x_j \quad (3)$$

ただし、

$$x(-j)' = v' [I - B(-j)]^{-1}$$

$x(-j)'$ : 産出行列 B において、j 部門のすべての産出 (行ベクトル) にゼロを乗じた上で算出された産出係数行列

$[I - B]^{-1}$ : ゴーシェの逆行列 (Ghosh, 1958)

$v'$ : 付加価値額を表す行ベクトル

(後方連関効果)

$$BL(-j) = [x - x(-j)] / x_j$$

ただし、

$$x(-j) = [I - A(-j)]^{-1}f$$

$A(-j)$ : 投入係数行列 A において、j 部門のすべての投入 (列ベクトル) にゼロを乗じた上で算出された投入係数行列

$[I - A]^{-1}$ : レオンチェフの逆行列 (註: 輸入内生型としているので、実際の適用には、さらに  $[I - M]$  を変数として用いている。)

$i$  部門と他部門の情報セキュリティの相互依存性を定量的に分析するにあたり、FL 又は BL でゼロを乗じた代わりに、 $(1 - IS_{ij})$  を乗じる。こうすることで、情報システムに依存している割合の取引がなかった場合の、川下又は川上部門への連関効果を図ることが可能となる。

本研究では、4 つの統計データを用いた。第 1 は、総務省統計局が公表している全国ベ

ースの産業連関表である。第 2 は、経済産業省が公表している地域間産業連関表である。第 3 は、経済産業省の情報処理実態調査である。第 4 は、経済産業研究所が提供する JIP データベースである。

IT 依存度 ( $T_i$ ) を算出するために、IT 投資データのうちの、IT 資本ストックと非 IT 資本ストックを用いた。具体的には、(5) 式で産業部門の IT 依存度を算出した。

$$T_i = IT_i / (IT_i + nIT_i) \quad (5)$$

ただし、

$IT_i$ :  $i$  部門の IT 資本ストック

$nIT_i$ :  $i$  部門の非 IT 資本ストック

情報セキュリティ対策については、次のようにして情報システムへの依存度 ( $IS_{ij}$ ) に反映した。まず、セキュリティ水準の数値化である。情報処理実態調査では、セキュリティ対策として 22 項目が調査対象となっている (2005 年度の場合)。これらの対策を既に実施していると回答した企業数の合計値を回答企業数の合計値で除すことで、業種別の平均対策数 ( $M_j$ ) を計算した。講じている対策の種類が多いほど、セキュリティ対策の水準が高いと仮定した。そして、全業種を対象として、同様に平均対策数 ( $M^*$ ) を計算して、 $s_j = M^* / M_j$  をセキュリティ倍率とした。

次に、各部門のセキュリティ倍率  $s_j$  を情報システム依存度  $T_i$  に乗じた。  $s_j * T_i$  により、セキュリティ水準を考慮した情報システムへの依存度を数値化した。そして、最終的に、(6) 式により  $IS_{ij}$  を算出した。

$$IS_{ij} = s_i * T_i * s_j * T_j \quad (6)$$

(2) 産業部門間の相互依存関係

全国ベースの産業部門間の相互依存関係については、2005 年産業連関表 (108 部門表) を用いて、他のデータもその時点にあわせた。また、業種としては、国内生産額の規模が比較的大きい産業部門のうち、製造業、重要インフラ及びサービス業に関係するものから各 3 部門程度を選んだ。具体的には、次の 10 部門である: その他電子部品、乗用車、自動車部品・同付属品、電力、商業、金融・保険、通信、情報サービス、広告、物品賃貸サービス。

10 部門を対象に、4. (1) で説明した分析手法を適用したところ、まず、産業部門間の相互依存性は、情報システムへの依存度を考慮することで、取引額のみを考慮する場合と大きく変わる可能性があることが明らかになった。次に、情報セキュリティ対策の効果を検討することで、川上への連関効果と川下への連関効果について、同対策の効果異なることが明らかになった。例えば、金融・保険部門は、情報セキュリティ対策が充実しているために、取引額ベースや情報シス

テム依存度だけをみれば、情報セキュリティ・インシデントの波及効果が他産業に比して大きくなる。しかしながら、同部門では、情報セキュリティ対策の水準が高いことから、同対策を考慮した相互依存性という観点からは、他産業部門と比較して、特に大きいわけではないことが確認された。以上、本項目（4.（2））の内容は、主に、Tanaka(2009)による。

### （3）時系列変化

時系列変化については、全国ベースの2000年と2005年の産業連関表の比較を行った。この5年間の間に、産業構造そのものの変化もあったが、情報セキュリティの相互依存性という観点からは、情報システム依存度の変化が着目される（なお、情報セキュリティの水準に関しては、情報処理実態調査での情報セキュリティ調査の対象が2001年度分からとなっていることを踏まえ、2000年度のデータではなく、2001年度のデータ）。

具体的には、4.（2）の分析対象のうち、金融・保険業及び情報サービス業の情報システム依存度が他の産業部門に比較して大きく上昇している。他方で、これらの業種は、この比較期間において、情報セキュリティ対策の水準が他の部門と比較して高い。このため、情報セキュリティの相互依存性という観点からは、これら二つの産業部門の他の産業部門への影響は大きくなりつつあるものの、セキュリティ対策を通じて、情報セキュリティ・インシデントが発生した場合の他部門への影響を抑制している可能性があることが確認された。

### （4）地理的な相互依存性

地理的な相互依存性については、2005年地域間産業連関表を用いて、分析を行った。以下では、事業最終年度の3月に発生した東日本大震災の影響を対象として分析を行った Jenjarrussakul, Tanaka, and Matsuura (2012a, b)に基づき説明する。

本分析では、12部門・9地域の産業連関表に基づき、4.（1）で示した手法で相互依存性の分析を行った。また、前項までに説明したデータのほかに、内閣府による資本ストックの毀損に関する推計及び国民経済計算にある資本ストックのデータを用いた。

まず、東日本大震災とはかかわりなく、日本国内における地理的な相互依存性を分析したところ、経済的規模の影響が大きく、製造業、商業・運輸及びサービスの3つの部門の影響が大きいことが確認された。次に、東日本大震災に伴う東北地方の被害の影響について分析をした結果については、情報セキュリティ投資を考慮した場合でも、地理的な

相互依存性についての特徴には特に変化は確認されなかった。地理的にみれば、東北地方の自地域内の影響の大きさに加えて、経済規模の大きい地域である関東地方への影響が大きいことが確認された。分析対象が12部門と大括りであるなどの限界はあるものの、情報セキュリティの観点から地理的な相互依存性について検証することができた。

### （5）成果のまとめ

本研究は、情報システムの相互依存性を考慮した上での、情報セキュリティ・インシデントの波及効果を経済的な観点から分析することを目的として取り組んだ。

IIMを拡張した手法を提案し、かつ、日本産業を対象とした実証分析、すなわち、全国レベルでみた産業部門間の相互依存性とその時系列変化、そして、地理的な相互依存性の分析に適用して、提案した手法の有効性を明らかにすることができた。また、相互依存性の観点からの情報セキュリティに関する政策についても検討することが必要であることなどを考察できた。以上ことから、情報セキュリティの経済的分析に関する研究分野で一定の成果をあげることができたものとする。

しかしながら、将来に向けてのいくつかの課題が残されている。第1は、情報システム依存度や情報セキュリティ対策水準の代理変数に関する検討である。ストックに着目した情報システム依存度では、装置型産業では過小評価されるおそれがある。フローに着目した数値を使用した場合との比較など、依存度の代理変数の更なる検討が必要である。また、情報セキュリティに関する代理変数に関しても、脆弱性、対策、脅威などに分解して、さらに検討することが求められる。さらに、情報システム依存度及び情報セキュリティ対策の水準については、業種による差異のみを反映している。さらに、地理的な差異を反映することも考えられる。

第2は、対象時点の問題である。いわゆるリーマンショックにより、2008年度後半から急激な輸出の落ち込みなど、日本経済は深刻な打撃を受けている。これに伴い、産業構造そのものも急激に変化しつつある。東日本大震災の影響などについて、より正確に分析するには、現時点では提供されていないが、2010年産業連関表に基づく研究が望まれるところである。

### （参考文献）

Andrijcic, Eva and Barry Horowitz (2006), "A Macro-Economic Framework for Evaluation of Cyber Security Risks Related to Protection of Intellectual Property,"

*Risk Analysis*, 26(4), pp.907-923.

Dietzenbacher, Erik and Jan A. van der Linden (1997), "Sectoral and Spatial Linkages in the EC Production Structure," *Journal of Regional Science*, 37(2), pp.235-257.

Haimes, Yacov Y., Barry M. Horowitz, James H. Lambert, Joost R. Santos, Chenyang Lian, and Kenneth G. Crowther (2005a), "Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. I: Theory and Methodology," *Journal of Infrastructure Systems*, 11, pp.67-79.

-, -, -, -, -(2005b), "Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. II: Case Studies," *Journal of Infrastructure Systems*, 11, pp.80-92.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

Tanaka, Hideyuki (2009), "Quantitative Analysis of Information Security Interdependency Between Industrial Sectors," 3rd International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, pp. 574-584.

[学会発表] (計5件)

田中秀幸 (2009), 「情報セキュリティの相互依存性に関する研究:産業連関表を用いた定量的分析手法の提案」, 日本経済政策学会第66回全国大会, 仙台:東北学院大学, 2009年5月30-31日.

田中秀幸 (2011), 「災害と情報セキュリティ:経済的側面から」, 第22回ISSスクエア水平ワークショップ, 横浜:情報セキュリティ大学院大学, 2011年5月20日.

Jenjarrussakul, Bongkot, Hideyuki Tanaka and Kanta Matsuura (2011), "Empirical study on Interdependency of Information Security between Industrial Sectors and Regions," the 7th Forum on "Financial Information Systems and Cybersecurity: A Public Policy Perspective," College Park: University of Maryland, January 20, 2011.

Jenjarrussakul, Bongkot, Hideyuki Tanaka and Kanta Matsuura (2012a), "Impact on Information Security from the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011,," the 8th Forum on "Financial Information Systems and Cybersecurity: A Public Policy

Perspective," College Park: University of Maryland, January 18, 2012.

Jenjarrussakul, Bongkot, Hideyuki Tanaka and Kanta Matsuura (2012b), "Sectoral and Regional Interdependency of Japanese Firms under the Influence of Information Security Risks," the 11th Annual Workshop on the Economics of Information Security, WEIS 2012, Berlin, Germany, June 25th and 26th, 2012.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 秀幸 (HIDEYUKI TANAKA)

東京大学・大学院情報学環・教授

研究者番号: 30332589