

東日本大震災に伴う 発電所被災がもたらす経済損失

石倉智樹¹・石川良文²

¹正会員 東京大学大学院工学系研究科（〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1）

E-mail: ishikura@csur.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 南山大学 総合政策学部（〒489-0863 愛知県瀬戸市せいれい町27）

E-mail: yishi@ps.nanzan-u.ac.jp

東日本大震災は、地震や津波などの直接的被害に加えて、発電所被災がもたらす電力供給力不足という間接的な経済被害を引き起こした。本研究は、東日本大震災に起因する電力供給力不足、ならびに電力需要抑制策がもたらした経済ダメージについて、空間的応用一般均衡モデルを用いて分析した。分析では、首都圏経済とその他地域それぞれにおける不便益と、各産業部門における生産額変化に着目し、いかなる影響が及ぶのかを定量的に評価した。

Key Words : Power Supply Shortage, Japan Earthquake, SCGE Analysis

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災、そして同時に引き起こされた大津波は、我が国に戦後最悪の被害をもたらした。東日本大震災は、人身被害の規模という点でしばしば比較対象にされる阪神淡路大震災や、その他近年の大地震と比べて、いくつかの点で被災の状況・特徴が異なっている。

その第一は、地震による被害をもたらした最大の要素は大津波であり、被災地域が非常に広範囲となった点である。三陸から関東まで、太平洋沿岸の多くの地域が被災し、一部では壊滅的となった市町村もある。これほど広い地域で同時に、自然災害によって人々の生命と資産が脅かされたことは、これまで我が国が経験していないことである。第二には、原子力発電所の被災によって、放射能汚染という、単純な自然災害とは異質な恐怖を併発したという点がある。チェルノブイリ原発事故では、事故の原因が原子力発電所に端を発するものであったが、福島のように地震・津波という、それら自体が大規模災害である要因であった例は見られない。

第三は、同じく発電所被災に関するものであるが、深刻な電力危機をもたらしたという点であり、本研究ではこの点に着目している。震災直後は、原子力発電所だけでなく、同じく津波によって設備が破壊された火力発電所や東京湾岸の火力発電所も（さらには水力発電所などでも）停止し、電力供給能力が大きく落ち込んだ。その結果、地震発生翌週からは不慮の大停電事故を防ぐた

め計画停電が実施された。さらに、先述の原子力発電所事故の影響を受けて、点検中の原子力発電所の再稼働が不透明になるなど、電力供給能力の低下は全国的な問題へと広がりつつある。

この電力供給力不足という事態は、大震災がもたらした他の災害と決定的に異なる特性を持っている。それは、地震や津波の影響を直接受けていない地域で、かつ広域にわたって震災起源の被害が生じたということである。特に、今回の大震災で被災した多くの発電所が東京電力の管内であったことから、東京を中心とする関東の大都市圏で電力不足に伴う諸問題が発生している。現在の社会経済活動においては、電力は必須とも言えるエネルギー源であり、これがストップするとあらゆる活動に支障が生じ、社会に混乱とダメージがもたらされる。

さらに、電力供給力不足の問題は、産業界にも家計にも、電力需要ピーク時における節電行動を強いることとなった。このこと自体が、節電による生産活動の効率性低下となるばかりでなく、電力供給不足との複合的な影響により、経済活動に対して負のインパクトをもたらすこととなる。例えば、震災翌週には、首都圏近郊における鉄道各社が電力使用抑制のために大幅に運休・運行削減を実施したことにより、他の産業活動水準も低下させ、結果的に予測された最大電力需要を大きく下回る最大電力需要が実現した。

そこで本研究は、東日本大震災に起因する発電所被災がもたらした電力供給力不足、ならびに電力需要抑制策が、いかなる間接的経済的被害をもたらしたのかについて

て、主に首都圏経済へ着目し分析する。

2. 電力不足による経済的影響

東日本大震災による被害は、直接的なものから間接的なものまで数多く報告されているが、主に社会経済活動に注目して、それらの関係を簡単に整理すると、図-1のような連鎖として表現することができる。地震の揺れや津波による直接的な影響、すなわち図-1の二列目にあるような、モノの損壊や人的な被害は、震災の一時的被害と呼ぶことができる。その中で、例えば精油所の被災はガソリンや灯油などの供給力低下をもたらし、消費者レベルでの燃料不足、一部での買い占めによる燃料不足のさらなる加速といった問題にもつながった。交通・生活インフラの損壊は、ライフラインが途絶えたり、物流機能の低下を通じて広範囲での物資不足をもたらすという影響を与えた。このように、主に直接被災地（地震・津波の）において、物的被害から間接的に影響を受けた被害は、二次的な影響とも表現できる。これがさらに波及して、計画停電などにより被災地以外で経済活動が滞る、そして生産力や所得の低下をもたらす、経済不況にもつながりうる、という影響は被災地以外にも及ぶものであり、ここでは三次的な影響と呼ぶこととする。原発事故による放射性物質の拡散、それに起因する農林水産物の風評被害も、被災地から離れた地域へも波及するという意味において三次的な影響を受けた被害と言える。

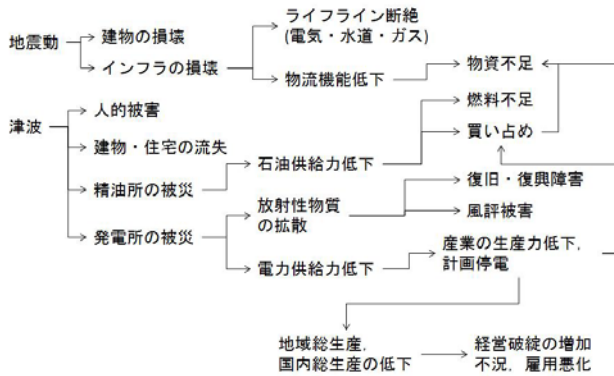


図-1 震災被害の連鎖

前章で述べたように、東日本大震災により生じた電力供給能力の喪失は、計画停電ばかりでなく、広く日本全体の産業活動に対して影響を及ぼした。このような、災害による間接的な経済被害を分析するためには、地域間産業連関表が持つ経済的波及効果分析能力を活用することが有用である。そして、その統計的情報を基に、経済理論と統合的な空間的応用一般均衡（SCGE）モデルを用いることで、経済面に及ぶ影響を（不）便益として評

価することが可能となる。このようなアプローチは、ライフライン途絶の経済被害を扱った土屋ら¹⁾、本研究と同様に地震による電力供給途絶を対象としたRose and Guha²⁾で用いられている。本研究も、これらの先行研究と同様にSCGEモデルアプローチにより、電力不足がもたらす首都圏経済および日本経済全体に及ぶ影響を分析する。

3. モデル

(1) モデルの概要と前提条件

本章では、電力供給不足による空間的な経済影響評価のための、SCGEモデルを構築する。本モデルは、上田編著³⁾で示されるモデルと同様の前提に基づく、一国経済を多地域多産業の経済システムとして扱った標準的なSCGEモデルであるが、下記のような特徴的な前提条件を設けている。

- ・地域間の財の輸送コストについては捨象している。
- ・各財の需要は、生産地別に不完全代替の関係にあるが、電力部門への需要に関する代替弾力性のみ他財と区別する。これは、本研究が電力の地域間融通度合いの影響に着目しているためである。ただし、代替弾力性は最終需要についても中間投入需要についても共通の値としている。
- ・国内所得移転と国際所得移転の実質値は、基準均衡の状態で固定されていることとする。これらの貨幣価値がニューメレールとなる。

以下では、モデルの詳細について述べる。

(2) 生産者行動

生産技術の階層構造を図-2に示す。

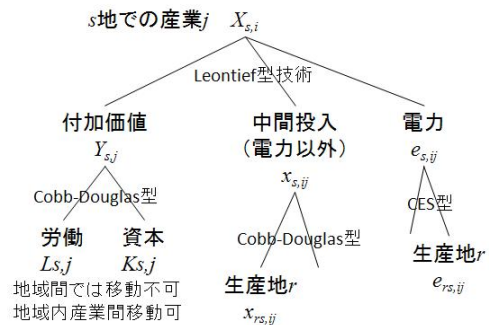


図-2 生産関数の階層構造

生産地sに立地する産業は、生産要素である労働と資本および中間財を投入して生産を行う。生産要素は地域間移動不可能とし、これらを合成して付加価値が生み出される。電力以外の中間投入財に関しては、生産地間に

Cobb-Douglas型の代替関係を仮定する。電力に関しては、生産地間について一定の代替弾力性を仮定したCES型技術を仮定する。付加価値と財別の合成中間投入に関してはLeontief型技術を仮定する。

したがって、財の生産関数は、

$$X_{s,j} = \min \left(\frac{e_{s,j}}{a_{s,ej}} \dots \frac{x_{s,ij}}{a_{s,ij}} \dots, \frac{Y_{s,j}}{a_{Ys,j}} \right) \quad (1)$$

$$Y_{s,j} = \eta_{s,j} (L_{s,j})^{\phi_{s,j}} (K_{s,j})^{1-\phi_{s,j}} \quad (2)$$

$$x_{s,ij} = \mu_{s,ij} \prod_{r \in R} (x_{rs,ij})^{\psi_{rs,ij}} \quad (3)$$

$$e_{s,j} = \mu_{s,ej} \left[\sum_{r \in R} \left(\alpha_{rs,ej} \cdot e_{rs,j} \frac{\sigma-1}{\sigma} \right) \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (4)$$

として表される。ただし、

$$\sum_{r \in R} \psi_{rs,ej} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{r \in R} \alpha_{rs,ej} = 1 \quad (6)$$

である。

ここで、各変数とパラメータの定義は、 $X_{s,j}$: s地域における産業jの生産、 $e_{s,j}$: s地域の産業jへの合成電力サービス投入、 $x_{s,ij}$: s地域の産業jへの合成中間財iの投入、 $Y_{s,j}$: s地域の産業jへの付加価値投入、 $a_{s,ep}$ $a_{s,ij}$ $a_{Ys,j}$: 投入係数、 $L_{s,j}$: s地域の産業jへの労働投入、 $K_{s,j}$: s地域の産業jへの資本投入、 $x_{rs,ij}$: s地域の産業jへのr地域産中間財iの投入、 $e_{rs,j}$: s地域の産業jへのr地域産電力サービス投入、 $\eta_{s,j}$: 付加価値効率性パラメータ、 $\mu_{s,ij}$: 生産地別中間財合成の効率性パラメータ、 $\mu_{s,ej}$: 生産地別電力合成の効率性パラメータ、 $\phi_{s,j}$: 付加価値のシェアパラメータ、 $\psi_{rs,ij}$: 中間投入財合成のシェアパラメータ、 $\alpha_{rs,ej}$: 電力合成のシェアパラメータ、 σ : 代替弾力性である。

合成中間投入財間についてはLeontief型の非代替性を仮定し、各財の生産地間代替については、電力産業に関してはCES（代替弾力性一定）型技術を、それ以外の財に関してはCobb-Douglas型技術を仮定している。我が国では、発電所の立地地域と大需要地である大都市圏とが地理的に離れており、電力周波数50Hz/60Hzの違いや送電線の容量など、発電所被災時などに電力会社管区の境界を超える電力供給には技術的な抵抗がある。電力産業部門において特殊な扱いを用いた理由は、代替弾力性により電力サービス供給における地域間融通の困難性を考慮し、その影響を分析することを意図したためである。その他の財に関しても、実証的な視点からは代替弾力性

の設定は慎重に行うべきであるが、現段階では今後の課題としたい。

(3) 家計行動

家計の効用関数についての階層構造を図-3に示す。

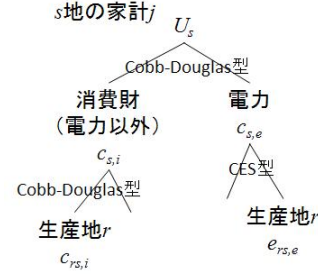


図-3 効用関数の階層構造

地域sに立地する家計の選好において、電力消費を含めて財間ではCobb-Douglas型の代替関係を仮定し、各財の生産地間代替については、電力消費に関してのみCES型、それ以外の財についてはCobb-Douglas型を仮定した。生産技術と同様に家計消費においても、電力サービス供給における地域間融通の困難性を考慮するため、電力部門についてのみCES型の地域間代替を想定している。

家計の効用関数は、以下のように定式化される。

$$U_s = \prod_{i \in I} c_{s,i}^{\beta_{s,i}} \quad (7)$$

$$c_{s,i} = \prod_{r \in R} c_{rs,i}^{\gamma_{rs,i}} \quad (8)$$

$$c_{s,e} = \mu_{cs,e} \left[\sum_{r \in R} \gamma_{rs,e} c_{rs,e} \frac{\sigma}{\sigma-1} \right]^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \quad (9)$$

ここで、 U_s : s地域における家計の効用、 $c_{s,i}$: s地域家計による合成消費財iの消費、 $c_{rs,i}$: s地域家計によるr地域産消費財iの消費、 $c_{s,e}$: s地域家計による合成電力サービスの消費、 $c_{rs,e}$: s地域家計によるr地域産電力サービスの消費、 $\beta_{s,i}$ $\gamma_{rs,i}$ $\gamma_{rs,e}$: シェアパラメータ、 $\mu_{cs,e}$: 家計消費合成の効率性パラメータである。なお、電力サービス需要における地域間代替弾力性は、生産活動における弾力性と同一と仮定した。

家計の所得制約は、以下の式で定義される。

$$I_s = w_s L_s + r_s K_s + NY_s \quad (10)$$

I_s はs地域の家計の所得であり、 L_s と K_s はそれぞれs地域の家計が保有する労働と資本である。 NY_s は地域外からの所得移転受取であり、本分析では域際収支バランスを保持するために基準均衡状態での値で固定し、前提条件で述べたようにニューメールの役割を果たす。

4. 電力不足による経済被害の分析

(1) 利用データ

本分析では、基準均衡データとして、著者らによって別途作成されている「2005年47都道府県間産業連関表」を用いた。首都圏経済への影響に着目するため、地域分割に関しては、東京、神奈川、千葉、埼玉の4都県と、その他全道府県との二地域へと集計している。産業部門分類については、元の45部門分類を、表-1に示すように42部門へ集計した。本分析では、SCGEモデルへの適用が容易となるよう、最終需要項目を区別せず全てが家計の消費需要と見なした簡易な扱いをしているため、最終需要額が負となる部門が生じないように、産業部門の再集計化を行っている。

表-1 産業部門分類

| 部門 | "その他"に含めた部門 |
|----------------|--------------------------------|
| 1 農業 | |
| 2 林業 | |
| 3 漁業 | |
| 4 食料品・たばこ | |
| 5 繊維製品 | |
| 6 製材・木製品 | |
| 7 家具・設備品 | |
| 8 パルプ・紙・紙加工品 | |
| 9 印刷・出版 | |
| 10 化学製品 | |
| 11 石油・石炭製品 | |
| 12 プラスチック製品 | |
| 13 ゴム製品 | |
| 14 皮革・同製品 | |
| 15 窯業・土石製品 | |
| 16 非鉄金属製品 | |
| 17 金属製品 | |
| 18 一般機械 | |
| 19 事務用・オフィス用製品 | |
| 20 民生用電気機械 | |
| 21 電子・通信機械 | |
| 22 その他の電気機械 | |
| 23 自動車 | |
| 24 その他の輸送用機械 | |
| 25 精密機械 | |
| 26 その他の製造業 | |
| 27 建築・建設補修 | |
| 28 土木 | |
| 29 電力 | |
| 30 ガス・熱供給 | |
| 31 水道・廃棄物処理 | |
| 32 商業 | |
| 33 金融・保険 | |
| 34 不動産 | |
| 35 運輸 | |
| 36 通信・放送 | |
| 37 公務 | |
| 38 教育・研究 | |
| 39 医療・保険・社会保障 | |
| 40 対事業所サービス | |
| 41 対個人サービス | |
| 42 その他 | 鉱業、鉄鋼製品、 その他の公共サービス、 その他 |

(2) 電力供給力不足による経済影響の分析

震災直後には東京電力の供給力の回復については、電力需要のピークとなる夏季までに約4500万kwと見込まれていた⁴⁾。すなわち、平成22年の電力需要ピーク時における最大電力需要6000万kwよりも約25%不足する可能性が予想されていた。その後、供給能力の回復見込みは上方修正され東京電力管内において5000万kw以上の供給が可能となったものの⁵⁾、通常時におけるピーク時最大電力需要に対しては、十分な供給力を確保できていない状況が続いている。

電力供給能力は、最大電力需要に対して余裕のある状

態でないと、不測の停電に備えて生産活動のパフォーマンスを抑制するなど、正常な生産技術を機能させることができないとは言えない。したがって、最大電力需要に対して、電力供給能力が逼迫しているとき、実質的にどれだけの生産技術低下をもたらしているか正確に把握することは困難である。

そこで本章では、電力部門の供給能力が不足することによる経済的な影響について、簡便な仮定に基づいて分析する。本章の分析において、東京電力管内の発電所被災によって首都圏経済への電力供給能力が低下したことを、首都圏地域の電力部門における付加価値生産効率性、すなわち式(2)における η_{ki} の25%低下によって表現する。また、本モデルでは、電力需要における地域間融通の難易度の代理指標として、CES型技術で表された地域間代替の代替弾力性を用いて考慮している。この弾力性の値も、本研究の仮定に基づいて実証的に与えることは困難であるので、Cobb-Douglas技術より非代替的であることを前提に、1未満の値の範囲において感度分析を行った。

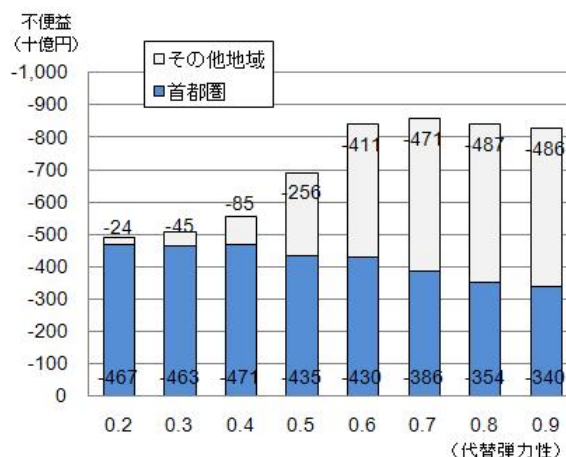


図-4 電力産業の代替弾力性に関する感度分析結果

それぞれの代替弾力性パラメータ値に対する、首都圏とその他地域での不利益の推定結果を図-4に示す。代替弾力性が小さく、電力の地域間融通が非常に困難な場合には、不利益の大部分が首都圏に帰着し、その全国総額は小さくなっている。代替弾力性が0.6以下のケースでは、首都圏の一都三県のみでの不利益がその他全道府県の不利益合計よりも大きくなっている。これらの結果の中では、代替弾力性が0.7の場合において、日本全体での不利益が最も大きくなった。

不利益総額が最大であった、代替弾力性0.7のケースにおける産業別生産額変化の推定結果を、図-5に示す。ただし、その他産業部門については、個別産業としての考察ができないので、結果は割愛している。

生産効率性の低下した、首都圏における電力産業の生

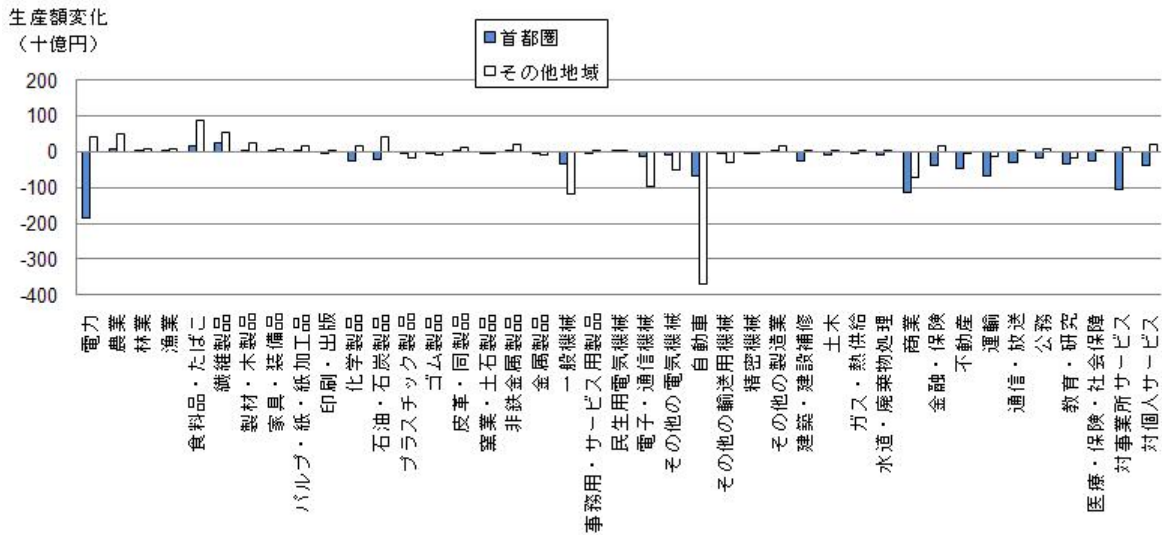


図-5 生産額変化 ($\sigma = 0.7$)

産額が大きく低下しているばかりでなく、首都圏では商業、金融・保険、不動産、運輸、サービスなど、主として第三次産業において生産額の低下が見られる。その他地域では、自動車部門で大きな生産額低下が確認される他、一般機械、電気・電子機械などでも生産が低下しており、地域間の経済被害波及が生じていることがわかる。その一方で、電力部門や農業、食料品・たばこ、繊維製品、石油・石炭製品などの部門では、首都圏産業の生産低下をその他地域における生産増加で代替しているということがわかる。

(3) 電力需要抑制政策による経済影響の分析

電力需給バランスの逼迫に対応して、電気事業法第27条に基づく使用制限が2011年7月1日より発動された⁹。これにより、電力の大口需要家に対して、時間帯使用最大電力の対前年比15%削減が義務付けられることとなった。第1章で述べたように、このような産業部門の電力需要抑制は、通常時の生産体制・技術を用いることを妨げることとなり、当該産業の生産効率性を低下させることとなる。本節では、電力供給不足に加えて、産業部門による電力需要抑制政策が採用されることによる経済的な影響について分析する。

ここでは、計画停電時に大きく運行削減を行った首都圏の鉄道部門を想定した運輸産業部門、休業曜日のシフトを実施した自動車産業部門、百貨店の輪番休業検討を考慮するための商業部門のそれぞれについて、生産効率性の低下による影響を分析する。実際の産業活動における電力需要抑制を生産関数へのショックとして定量的に設定することは困難であるので、機械的に生産効率性が一定率低下させることにより、上記の電力需要抑制を表

現する。具体的には、首都圏における運輸部門の付加価値生産効率性の10%低下、日本全国での自動車産業部門の付加価値生産効率性の10%低下、日本全国での商業部門の付加価値生産効率性の1%低下（商業部門は生産額規模が非常に大きいので、効率性の低下率は小さな値として与えた）を、生産技術ショックとして、前節の電力供給能力低下に付加した場合、どのような影響が生じるかを分析する。

紙面の都合上、本節では首都圏とその他地域における不便益の結果のみ、図-6に示す。いずれの電力需要抑制政策も、電力供給不足のみの場合よりも、首都圏およびその他地域に対して大きな経済的不便益をもたらすことは明らかである。中でも、首都圏における運輸部門の生産効率性低下、すなわち鉄道運行制限などが実施された場合には、首都圏のみにおける不便益だけでなく、全国的な不便益も甚大となると推定される。

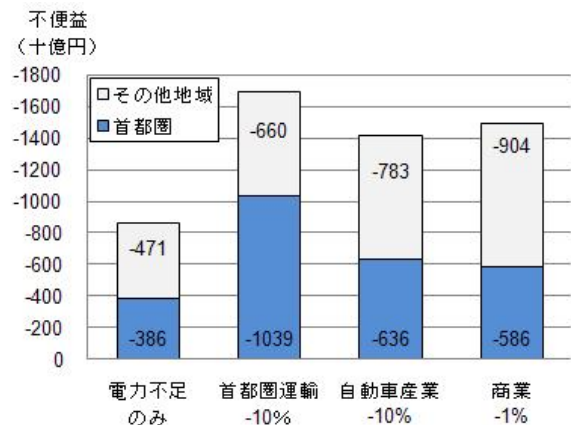


図-6 電力需要抑制策による地域別不便益

これらの結果は、単純化された仮定に基づくものであるが、いかなる電力需要抑制政策を採用するかによって、電力供給不足にともなう経済的ダメージとその地域分布が異なりうるということを示唆している。

5. おわりに

本研究は、東日本大震災に起因する発電所被災がもたらした電力供給力不足、ならびに電力需要抑制策がもたらした経済ダメージについて、空間的応用一般均衡モデルを用いて分析した。分析では、首都圏経済とその他地域それぞれにおける不便益と、各産業部門における生産額変化に着目し、いかなる影響が及ぶのかを定量的に評価した。

本研究では、発電所の被災による電力供給力低下を首都圏における電力産業部門の付加価値生産性低下として扱っている。したがって、分析結果の解釈にあたっては、このような簡便な仮定に基づく分析結果であるという点に注意が必要である。これは、震災直後の混乱の中、実態に関する情報が少ない中で、速報的な電力不足問題に関する経済被害評価を目指したためであり、分析精度よりも、影響の概観把握を第一義としている。地震と津波による直接的な被害の影響を捨象しているのも、同様

の理由による。今後は、被災地経済を考慮できる地域分割や、震災被害や発電所被害の復旧状態などに関する条件設定を精緻化することを検討している。また、原子力発電所の運転停止等により、電力供給力不足の問題は全国的なものへなりつつある。こうした問題に対し、どのような影響が起こりうるのか、それにとともなう経済被害を抑制するための節電政策分析などについても、検討を重ねていく必要がある。

参考文献

- 1) 土屋哲, 多々納裕一, 岡田憲夫: 地震災害時のライフライン途絶が及ぼす経済被害の計量化に関する研究, 地域安全学会論文集, No.10, pp.355-364, 2008.
- 2) Rose, A. and Guha, G.: Computable General Equilibrium Modeling of Electric Utility Lifeline Losses from Earthquakes, in Modeling spatial and economic impacts of disasters, Okuyama, Y. and Chang, S.E. Eds., pp. 119-142., Springer-Verlag, 2004.
- 3) 上田孝行編著: Excelで学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 2010.
- 4) 経済産業省電力需給緊急対策本部: 夏季の電力需給対策の骨格(案) (平成23年4月8日発表), 2011.
- 5) 経済産業省電力需給緊急対策本部: 夏季の電力需給対策について (平成23年5月13日発表), 2011.

Economic Impacts of Power Supply Shortage and Electrical Demand Control Policies caused by Japan Earthquake

Tomoki ISHIKURA and Yoshifumi ISHIKAWA

East Japan Earthquake caused power supply shortage problems in Tokyo Metropolitan Area as well as direct disaster damage in Tohoku region. The economy was forced to reduce electrical demand and then economic activities also shrink due to inconvenience of power usage. This paper evaluates the negative impacts of the power supply shortage by Spatial Computable General Equilibrium analysis. We furthermore analyze the influence of some electrical power demand control policies in specific industrial sectors.