

2015年3月31日 関西大学審査学位論文

南海トラフ巨大地震による電力供給制約と
社会経済的被害軽減対策に関する研究

Study on Electric Power Supply Restriction and
Countermeasures for Reduction of Socioeconomic Loss
Due to Nankai Trough Earthquake

関西大学大学院 社会安全研究科 防災・減災専攻
Graduate School of Safety Science, Kansai University

12D7502 寅屋敷 哲也
Tetsuya TORAYASHIKI

論文要旨

本論文は、南海トラフ巨大地震を対象とした電力供給制約の推計手法の提示、ならびに電力供給制約による経済被害の推計手法の提示をし、それらを活用した対策による経済被害軽減効果の評価を基に、防災・減災政策上必要な対策の方向性についての示唆をまとめたものである。本論文は7つの章から構成されている。

第1章は序論として、本研究で扱う低頻度巨大災害対策における問題の所在を示し、研究目的を提示する。低頻度巨大災害を想定すると、設備のハード対策のみではなく、代替手段を活用することが事業継続に対して有効に働く可能性が高いため、電力セクターにおいては、地域間電力融通に着目した対策について検討することを本研究の基本的視点とすることを述べる。

第2章では、東日本大震災後の電力供給制約が生じた要因とその社会的影響について整理する。東日本大震災では、甚大な被害を受けた発電所の早期復旧の困難性と地域間連系線の送電容量の制約という2点が電力供給制約の大きな要因であったことを示す。また、東日本大震災後の電力供給制約の社会的影響の特性として、被災地への影響というよりもむしろ被災地以外の物理的被害が少ない地域において影響が大きいという、従来懸念されてきた災害による電力被害の影響とは異なる性質を有していることを示す。

第3章では、南海トラフ巨大地震を対象として電力供給制約の推計を行う。電力供給制約量については、電力の供給可能量と需要量を別途推計し、その差分の需給ギャップを電力供給制約の量として定義する。これらに用いた前提条件は、すべて東日本大震災の実績を基に組み立てている。電力会社の管轄域別に、そして時系列に電力需給ギャップを推計することで、地域別の電力不足量と余剰量の把握が可能となり、地域間電力融通による効果を可視化することができる。これによって、現状では中部地域に向けた地域間電力融通の制約が大きな課題となることを指摘する。

第4章では、現在政府で検討されている地域間連系線の増強対策案を概説し、第3章で指摘した課題を踏まえ、さらに必要となる対策を検討する。具体的には、中部関西間連系線の容量を増強する対策案を提示し、対策による効果を測

定するために経済被害軽減額を指標とした評価の枠組みを提示する。

第5章では、対策による経済被害軽減額を推計するための手法を提示している。これには、経済被害の波及効果を含めた間接被害を前提としており、産業連関分析を用いた手法を採用している。全産業の被害を投入して算出された経済被害と、電力を除いた産業の被害を投入して算出された経済被害の差分を電力供給制約が及ぼした経済被害として定義し、これを対策効果の評価基準とする。

第6章では、第4章で検討した対策を実施した場合に、第5章で提示した評価基準である経済被害がどの程度軽減されるかについて評価する。さらに、対策に係る費用を算出し、費用便益分析を行う。そうすることで、対策における平常時の運用メリットと南海トラフ巨大地震が発生した場合のメリットを並べて評価することができ、対策の意思決定において、長期の安定供給性を含めた議論につながる可能性を示す。また、地域間電力融通において、配分量を変化させることによる経済被害軽減効果も併せて評価する。その結果中部に優先して配分することは全国的な経済被害の軽減につながる可能性があることを指摘する。これらの結果を踏まえて、南海トラフ巨大地震による電力供給制約が及ぼし得る経済被害を軽減するために必要となる政策提言を行う。

第7章は結論として、得られた成果について要約している。

目 次

第 1 章 序論.....	1
1.1 研究の背景.....	1
1.2 問題の所在.....	2
1.3 研究の目的.....	4
1.4 論文の構成.....	5
参考文献.....	7
第 2 章 東日本大震災による電力供給制約の検証.....	8
2.1 電力供給制約の発生要因.....	8
2.1.1 要因の整理.....	8
2.1.2 発電所の早期復旧の困難性.....	10
2.1.3 地域間電力融通の制約.....	11
2.2 計画停電.....	12
2.2.1 実施概要.....	12
2.2.2 社会的影響.....	14
2.3 電力使用制限令.....	16
2.3.1 実施概要.....	16
2.3.2 社会的影響.....	18
2.4 電力供給制約による社会的影響の特性.....	19
参考文献.....	21
第 3 章 南海トラフ巨大地震による電力供給制約の推計.....	22
3.1 南海トラフ巨大地震の被害想定.....	22
3.2 推計手法.....	23
3.2.1 推計の考え方.....	23
3.2.2 手法の特性.....	25
3.3 電力供給可能量の推計.....	27
3.3.1 推計のプロセス.....	27

3.3.2	発電所の復旧期間の設定	28
3.3.3	南海トラフ巨大地震への適用	31
3.4	電力需要量の推計	32
3.4.1	推計のプロセス	32
3.4.2	鉱工業生産指数変化率の推計	34
3.4.3	月間平均気温の設定	39
3.4.4	電力需要変化率	40
3.5	地域間電力融通の設定	41
3.5.1	地域別電力需給ギャップ	41
3.5.2	配分の考え方	44
3.6	結果の考察	46
3.7	まとめ	49
	参考文献	52
第4章	対策の検討と有効性評価の視点	53
4.1	電力設備の災害対策の考え方	53
4.2	対策の検討	55
4.2.1	東西連系線増強計画	55
4.2.2	対策案の提示	56
4.3	対策による有効性評価の視点	59
	参考文献	61
第5章	電力供給制約による経済被害の推計	62
5.1	推計手法の検討	62
5.1.1	経済被害の定義	62
5.1.2	分析手法の決定	62
5.1.3	評価基準の考え方	64
5.1.4	利用データ	65
5.2	分析	66
5.2.1	供給サイドモデル	66

5.2.2	電力以外の産業の被害率.....	67
5.2.3	電力産業の被害率.....	70
5.3	推計結果の考察.....	72
5.4	まとめ.....	74
	参考文献.....	76
第6章	対策による経済被害軽減効果の評価.....	78
6.1	評価の考え方.....	78
6.2	地域間連系線の増強対策の評価.....	79
6.2.1	東西連系線の増強.....	79
6.2.2	中部関西間連系線の増強.....	81
6.2.3	費用便益分析.....	83
6.3	地域間電力融通の調整による効果.....	88
6.4	政策的インプリケーション.....	91
6.4.1	費用負担のあり方を踏まえた対策効果の評価.....	91
6.4.2	電力融通の地域間配分の考え方の整理.....	94
	参考文献.....	97
第7章	結論.....	98
	謝辞.....	100

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

2011年に発生した東日本大震災やタイの洪水災害は、経済被害への影響が甚大であり、それは直接被害のみならず、間接被害への影響が顕著な災害であったといえる。被災地での企業活動の停止がサプライチェーンを通じて、被災地外の国内あるいは海外の企業の事業継続に影響が波及したのである。特に、サプライチェーンの裾野の広い自動車産業や電機・電子部品産業において、被害が大きかった。今日、企業では、大規模な自然災害の発生やその他多様なリスクに対して、事業活動への影響を最小限に抑えるべく、事業継続計画（Business Continuity Plan: BCP）の策定等を通じて事業継続性を向上していくことが求められている。

今日の経済活動は、堅密な企業間の相互依存関係の基盤の上で成り立っている。これは、事業活動の効率性の追求に伴って、産業・企業間の分業体制が確立されてきたことが背景にあり、さまざまな財やサービスの供給プロセスが複雑に構成されている。このような相互依存ネットワークは、効率性の面で大きなメリットをもたらすものの、ネットワークの一部の構成要素に支障が生じると、波及的に影響が拡大するというデメリットが存在する。特に、ネットワークのハブとなる部分が機能不全に陥った場合、その波及効果は大きいものとなる。実際には、企業の事業活動において不可欠なインフラの途絶等によって引き起こされる。その意味では、東日本大震災後の電力不足は、まさにその状況を体現していたといえる。東日本大震災では、発電所の同時多発的被害によって、中長期的かつ広域的に電力供給制約の影響が生じ、それによって引き起こされた震災後の計画停電や夏季における電力使用制限令は、社会経済活動に混乱を与えた。電力は国民生活や経済活動にとって不可欠なエネルギーであり、供給が制約されると社会に多大な影響を及ぼし得るのである。

一方、日本では、東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震と同様の海溝型地震である南海トラフ巨大地震の発生が懸念されている。この地震は、

東日本大震災の教訓から、過去の発生データからだけではなく発生し得る最大規模を想定したモデルである。このような巨大災害が発生した場合には、再び、大規模な電力の供給制約が生じる可能性がある。そのため、たとえ最大クラスの規模の地震が発生した場合においても、社会経済的影響が大きくなるために、電力供給力を確保するための対策は、防災・減災政策上、重要な課題であるといえる。

1.2 問題の所在

低頻度巨大災害への対策の意思決定を取り巻く問題は、非常に大きな困難性を抱えている。田中（2008）は、現状得られる情報から導出される災害の発生確率やそれによる損害の見積もり自体に大きな不確実性¹を孕んでいることが、対策の意思決定を難しくさせている要因であると指摘している¹⁾。不確実性を伴う事象に対する意思決定をするための経済評価の理論的研究については膨大な蓄積があり、上田（1997）²⁾、多々納（1998）³⁾、小林ら（2000）⁴⁾、横松（2005）⁵⁾等によって検討されてきている。しかし、企業の実務レベルへの応用が普及されるまでには至っていない¹⁾。

一方で、災害による経済被害を軽減するためには、不確実性をあるものとしながら、限られた情報の中で、有効な対策の意思決定をしていかなければならない。そこで、低頻度巨大災害においても有効に機能する対策について、検討していくことが必要である。ここで、対策については、その目的を防災と事業継続の2種類に分類して考えることとする。防災を目的とした対策は、人的被害や物的被害の軽減を目標として、拠点レベルでの対策が中心であるのに対し、事業継続を目的とした対策は、それらの対策に加えて、重要業務の継続・早期復旧やサプライチェーンの観点での対策を加えたものである⁶⁾。この事業継続を目的とした対策における重要業務の継続という視点に着目し、低頻度巨大災害においても有効に機能する対策を、東日本大震災の被災企業の教訓から検討

¹ Knightによると、結果に関する確率分布関数が既知の場合をリスク、そのような確率分布に関する知識が全くない場合を不確実性と分類できる⁷⁾。

を行う。丸谷（2011）は、今後はサプライチェーンの観点をより明確に含ませた代替戦略を強調することが重要であると指摘している⁸⁾。この代替戦略とは、事業拠点や人材の確保、原材料・部品の調達に一定の期間支障が生じたとしても、それらが回復するまでの間、代替措置を講ずるための戦略のことである。巨大災害の場合には、事前のハード対策が十分に機能しない可能性が高いため、代替戦略が事業継続には有効に働くことが期待されている。ただし、ハード対策は今後も必要なものであることに変わりないが、それに加えて、自社の経営資源が一定期間使えなくなることを前提とした、代替手段の検討しておくことが事業継続において重要な鍵になるといえる。また、永松ら（2012）は、低頻度巨大災害では、その対策を意思決定するのは現在世代であるが、その恩恵を受けるのは、むしろ将来世代である可能性が高いがために、ハードな対策によって抑止するよりも、ソフトで対応すべきであるという国民の選好が大きいことを指摘している⁹⁾。すなわち、社会的な要請としても、低頻度巨大災害を考慮した場合には、必ずしもハード対策のみで対応すべきではないとの考えが強いとの見方がある。そのため、インフラのような公益事業の事業継続を考えた場合にも、ハード対策のみならずソフトでの対応の充実が求められているといえる。

また、低頻度巨大災害を想定し、ハード対策以外の代替策を検討する場合、その対策による効果をどのように評価するかという問題が生じる。一般的に、ハード対策のような防災を目的とした投資としては、災害が発生した場合にのみ便益が生じることが多いため、低頻度である性質が影響して、その便益はかなり小さいものとして見積もられる傾向がある。しかしながら、事業継続を目的とした場合には、必ずしもそうではない対策も存在する。例えば、新規の設備投資を行うことで、システムの代替性の確保を図ることができる場合である。新たな設備投資によって平常時の事業収益の増加が見込まれる場合、平常時の経済性と災害時における事業継続性の向上（経済被害の軽減）の両者が期待できる。ただし、システムの代替性を確保するという災害対策を意識した観点が強くなってしまうと、逆に平常時の経済性が低下する恐れもある。企業は短期的な経済性を追求しなければならず、平常時の経済性の低下については経営上大きな重荷となる可能性もある。藤本（2011）は、製造業における事業継続と

しての代替性の確保については、震災対応という基準のみに頼るのではなく、あくまでグローバル競争の現実に即して行うべきであると主張している¹⁰⁾。ただし、電力会社のような公益事業者は、他社との競合性という意味では製造業のような企業とは全く性質が異なる。そのため、電力セクターにおいては、低頻度巨大災害における事業継続を目的とした対策を検討する上で、経済性と安定供給性のバランスをいかに評価していくのかという議論をより進展させていく必要がある。

1.3 研究の目的

本研究では、南海トラフ巨大地震を対象とした電力供給制約の問題に焦点を当てる。ここで、本研究で対象とする電力供給制約とは、発電所被害に起因する電力供給力の低下として定義する。以上の前提を踏まえて、本研究では以下の2点の目的に沿って進めることとする。

第1の目的は、南海トラフ巨大地震による電力供給制約に対する現状の電力システムの脆弱点を把握することである。これによって、どのような対策を実施すべきかという検討をするための対策のオプションを提示することにつながる。そこで、脆弱点を抽出するために必要となる、南海トラフ巨大地震による電力供給制約を推計する手法を提示する。ここで、低頻度巨大災害を対象とすることを踏まえ、発電所に対するハード対策ではなく、地域間電力融通に着目した代替策を検討する。その理由は、発電所が同時多発的に被害を受けて、中・長期間稼働停止したとしても、被害を受けていない発電所からの電力融通によって、電力供給量を確保することができるからである。そのため、地域間電力融通における課題を抽出することができるような電力供給量の推計手法の開発を目指す。

第2の目的は、南海トラフ巨大地震の経済被害軽減における対策の有効性を評価することである。そこで、南海トラフ巨大地震による電力供給制約に起因する経済被害を抽出できる手法を提示する。これによって、電力供給制約の対策を実施した場合の、経済被害軽減効果を把握することができる。そして、経

済被害の軽減額と対策に係る費用便益分析から、その対策の有効性について経済性を含めた評価を行う。

本研究では、社会全体への経済被害の影響を評価するため、個々の電力会社の事業継続というよりも、電力セクター全体として果たすべき事業継続を考える。そのため、南海トラフ巨大地震における防災・減災政策に強く影響を与えるものであり、今後必要となる対策とその方向性についての政策提言を行う。

1.4 論文の構成

本論文の構成には、南海トラフ巨大地震による電力供給制約の推計フェーズと、その対策による経済被害軽減効果の評価フェーズの2段階があり、フェーズ毎に章構成を行っている。本論文の章構成のイメージを図 1.1 に示す。

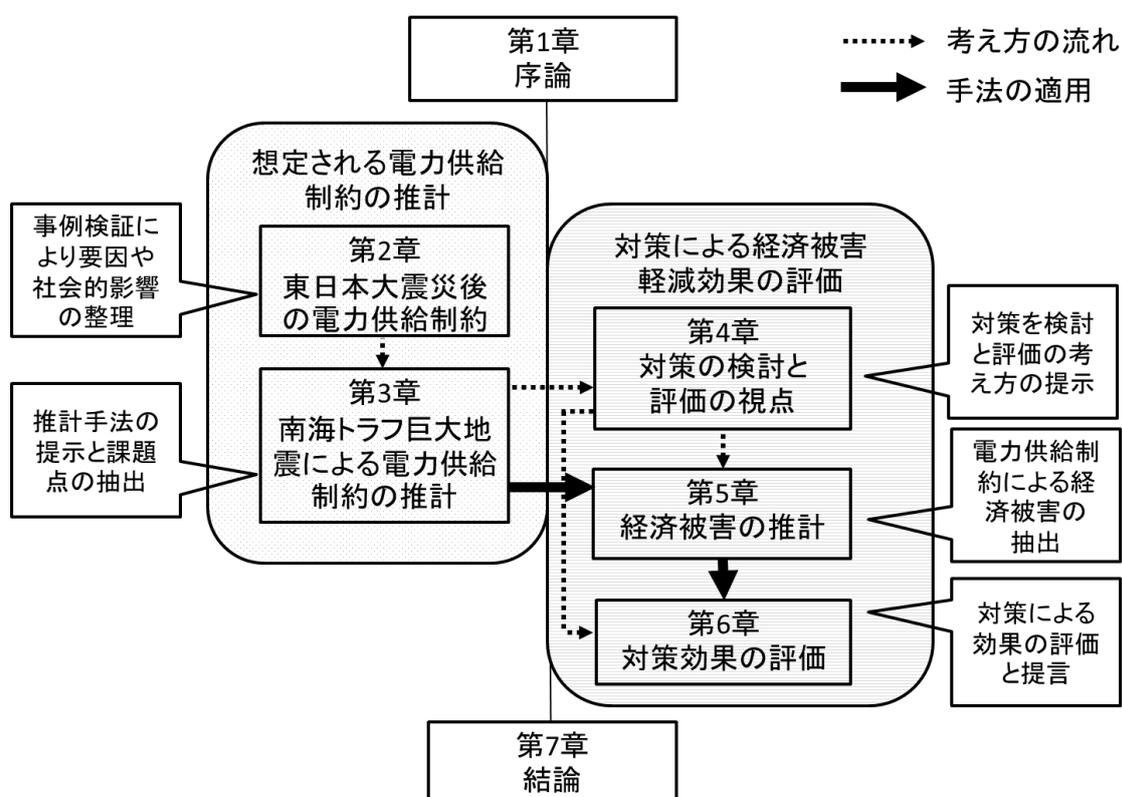


図 1.1 本論文の章構成

第2章と第3章が、南海トラフ巨大地震による電力供給制約の推計フェーズである。

第2章では、東日本大震災後の電力供給制約が生じた要因とその社会的影響について整理する。ここでは、続く第3章において、南海トラフ巨大地震による電力供給制約の推計手法を提示する上で必要となる考え方を整理する。そのため、東日本大震災で生じた発電所の被害の概要、その復旧においてどのようなことが問題点となったのかを指摘する。そして、電力供給制約が及ぼした社会的影響について既存の文献調査から概説し、計画停電と電力使用制限令によって生じた社会的影響の特性についてまとめる。

第3章では、南海トラフ巨大地震による電力供給制約量の推計手法を提示し、推計結果から課題点を抽出する。推計手法に係る前提条件は、東日本大震災の実績値を参考とする。電力の供給可能量と需要量を別途推計し、その差分の需給ギャップを電力供給制約量とする。

そして、第4章から第6章が、対策による経済被害軽減効果の評価のフェーズである。

第4章では、電力設備の自然災害対策の基本的考え方をまとめ、本研究で経済被害軽減効果の評価する対策を検討する。対策の視点としては、地域間電力融通に関する対策とし、具体的な対策の検討に当たっては、現在政府で検討されている対策の計画案に加え、第3章で抽出した課題を基に行うこととする。そして、対策の有効性評価の考え方を提示し、そのために必要となる手法を検討する。

第5章では、想定される電力供給制約による経済被害の推計手法を提示する。その目的は、ある対策を実施した場合にどの程度経済被害を軽減できるかを評価することである。そうすることで、対策に係る費用便益分析が可能となり、対策の意思決定を行う上での、判断基準の1つとして活用することができる。

第6章では、第4章で検討した対策とその他必要となる対策について、第5章の手法を用いて、対策による経済被害軽減額を推計し、その費用便益分析を行う。その結果を考察し、防災・減災政策に有用な示唆を提示する。

最後に、第7章では、本論文の結論として、得られた成果について要約する。

参考文献

- 1) 田中賢治（2008）自然災害リスクの特殊性とそのリスクマネジメントの困難性，企業の自然災害リスクマネジメントに関するサーベイ，内閣府経済社会総合研究所，ESRI Discussion Paper Series，No.199.
- 2) 上田孝行（1997）防災投資の便益評価－不確実性と不均衡の概念を念頭において，土木計画学研究・論文集，No.14，pp.17-34.
- 3) 多々納裕一（1998）不確実性下のプロジェクト評価：課題と展望，土木計画学研究・論文集，No.15，pp.19-30.
- 4) 小林潔司・横松宗太（2000）カタストロフ・リスクと防災投資の経済評価，土木学会論文集，No.639 /IV-46，pp39-52.
- 5) 横松宗太（2005）第2章 カタストロフリスクと経済評価，「防災の経済分析 リスクマネジメントの施策と評価」，勁草書房，pp.22-48.
- 6) 事業継続推進機構（2013）標準テキスト第8版.
- 7) Knight, F (1959) Risk, Uncertainty and Profit, Houghton, Mifflin & Co.
- 8) 丸谷浩明（2011）：東日本大震災の教訓を踏まえた事業継続計画（BCP）改善への提言，土木学会論文集 F6（安全問題），Vol.67，No.2，pp.I_1-I_10.
- 9) 永松伸吾・佐藤主光・宮崎毅・多田智和（2012）低頻度巨大災害に対する国民の政策選好に関する調査，内閣府経済社会総合研究所，ESRI Discussion Paper Series，No.290.
- 10) 藤本隆宏（2011）サプライチェーンの競争力と頑健性－東日本大震災の教訓と供給の「バーチャル・デュアル化」－，東京大学ものづくり経営研究センター，MMRC DISCUSSION PAPER SERIES, No.354.

第 2 章 東日本大震災による電力供給制約の検証

2.1 電力供給制約の発生要因

2.1.1 要因の整理

東日本大震災後に生じた電力供給制約の発生要因を整理するために、電力会社による供給力確保に向けて取られた対応の構造を図 2.1 にまとめる。

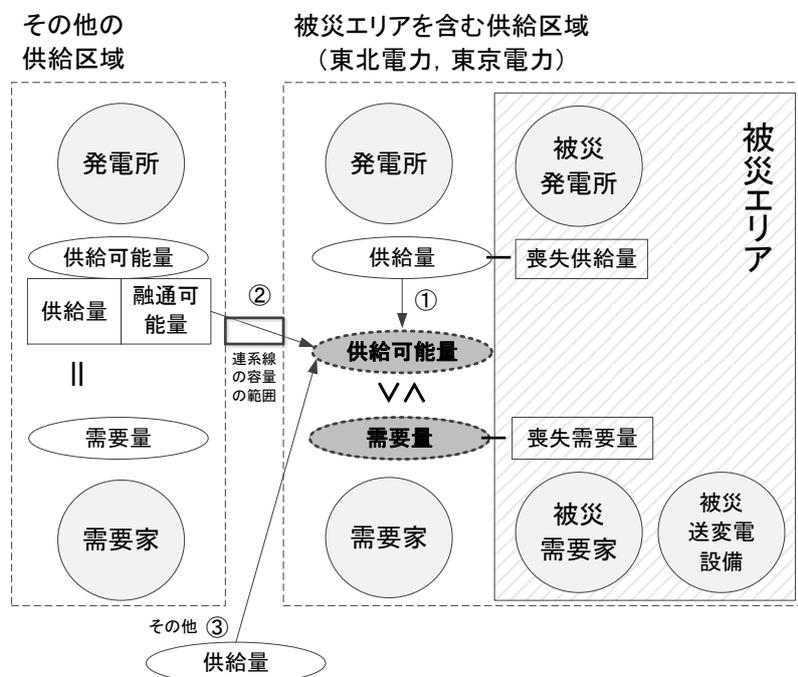


図 2.1 電力供給制約への対応構造

電力供給制約への対応には、大きく 3 段階のステップが存在する。被災区域を含む東北電力と東京電力の供給区域においては、発電所が被災したため、1 段階目として、電力会社は被災した発電所の復旧を急ぎ、低下した供給力を回復する措置を取る。ここで、被災した発電所の喪失供給量を踏まえた発電可能な供給量が、被災によって喪失した供給区域内の需要量を踏まえた最大需要量に対して満たすことができるかが問われる。被災発電所の再稼動・復旧が間に合わず、需要量を満たせないと予想される場合には、2 段階目として、

被害を受けていない他電力会社の電力融通を受けることによって、供給力を確保するための対応を実施する。これによって、被災した供給区域における電力の不足分をある程度補完することが可能となる。ただし、条件としては、被災していない電力会社に電力を融通できる十分な供給力があることと、融通可能な電力量は地域間連系線の容量の範囲内に制約されるということの2点が挙げられる。その他、3段階目として、緊急電源の設置や長期計画停止中の発電所の再開など、可能な限り電力供給量を確保するための対応を実施する。しかしながら、これらを実行するにはある程度時間を要するため、発電所の復旧がある程度長期化した際には有効といえるが、災害発生後の短期間には有効ではない可能性が高い。さらに、緊急電源については、発電容量の規模は一般的な火力発電所と比較して小規模であることから、補完できる量は限定的であるといえる。以上より、電力供給制約が生じる要因は、被災による喪失供給量と喪失需要量のバランス、発電所の復旧速度、電力融通可能量、その他代替策等によって決まるといえる。

東日本大震災後の電力供給制約は、甚大な被災地を含む東北電力管内よりもむしろ直接被害が比較的小さかった地域である東京電力管内の方が大きかったといえる。これは被災による喪失供給量と喪失需要量のバランスによる影響が生じているといえる。地震や津波を伴う災害では、その被災地では建物被害や送電設備被害が生じ、それに伴って需要量も減少する。そのため、東北電力では直後は需給実績が前年同期比で約4割²にまで減少し、その後数日間においても約6割程度²であった。しかし、東京電力管内では、直後においても需給実績は前年同期比で約7割²、翌日からは約9割²にまで回復していた。すなわち、東京電力では、需要の落ち込みも少なく、回復も早かったにもかかわらず、発電所被害に伴う電源喪失が大きかったために、需要を満たすための電力供給力を確保することが困難となり、大きな電力供給制約に至ったということが伺える。

震災後の電力会社による供給力確保に向けた対応において重要となるのが、

² 東北電力と東京電力の Web サイトに公表されている過去の需給実績を参照し、前年度の同日同時間の比を算出した。

(<http://setsuden.tohoku-epco.co.jp/graph.html>, 2014年11月27日確認)

(<http://www.tepco.co.jp/forecast/index-j.html>, 2014年11月27日確認)

発電所の復旧と地域間電力融通であるが、東日本大震災後にはこの2点について大きな課題があった。そこで、これらの課題点について考察を行う。

2.1.2 発電所の早期復旧の困難性

東日本大震災では、早期復旧が物理的に困難であった発電所が多くあったことは電力供給制約に至った要因の1つである。そこで、まず発電所の被害について概説し、早期復旧の困難性について考察する。

火力発電所の被害については、東北電力が保有する火力発電設備 20 基 (1,065 万 kW)、東京電力 81 基 (3,637.1 万 kW)、共同火力では 10 基 (502.5 万 kW) が被害を受けた¹¹⁾。発電所の被害状況は、地震動と津波、液状化によって被害の程度が異なっている。地震動による被害については、大半がボイラー周りを接続しているチューブ管や配管や振れ止め金具等であり、発電機本体であるタービンやボイラーのような重要設備に関しては大きな被害はなかったと報告されている¹²⁾。津波被害については、海岸沿いに設置されている燃料船や燃料の運搬に関わる設備、排水関係に関する設備、そして建屋 1 階に設置されていた、さまざまな器具や電気関係の設備まで被害の影響は多岐に渡る¹²⁾。液状化被害については津波被害が大きかったところでは被害規模が明確に確認されていないが、道路の隆起、沈降、防油堤の亀裂、配管、コンベアー架台基礎の沈降等への影響が大きかった¹²⁾。

原子力発電所については、東北電力の女川原子力発電所 (217 万 kW)、東京電力における炉心溶融事故が起きた福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所 (878 万 kW) が被害を受けた。被災した原子力発電所については、復旧の完了に関わらず、稼働停止してから現在に至るまで、再稼働を果たしていない。それは、福島第一原子力発電所の事故が契機となり、今後の原子力発電所は再稼働するか廃炉にするかという二者択一に迫られている状況だからである。

水力発電所については、8 発電所の被害が確認されており、ダム自体の損傷はなかったが、遮水壁や水路工作物の損傷が目立った被害である¹³⁾。東北、関東地方に存在する水力発電所の総数からみると、被災した発電所の数は少ない³

³ 現在、水力発電所は許認可出力 30,000kW 以下の小発電所も含めて、東北電力管内で 210、東京電力管内で 164 存在している。

ことから、水力発電所への影響は比較的小さかったことが伺える。それは、多くの水力発電所は川の中流や上流に作られており、内陸に立地しているため、東日本大震災による地震や津波の影響が比較的小さかったことが挙げられる。

震災後の電力供給量確保においては、被災した原子力発電所と水力発電所の復旧はあまり影響がなかったことから、発電所の復旧の困難性については火力発電所についてのみ絞って考察する。被災した火力発電所は、被害の程度に応じて、数日で復旧したものから数ヵ月、数年というように復旧に長期間を要したものまでさまざまである。地震の揺れによる被害については重大な被害の影響はなかったものの、東日本大震災で被災した火力発電所は最大でも震度 6 弱程度の外力であった。そのため、今後大規模な地震によって、震度 6 強や 7 の地震動、連続的に強い余震等による被害を受ける場合には、大きな被害が生じ、さらに復旧に時間を要する可能性があることは留意すべきであるといえる。そして、今回発電所の復旧に長期間を要した大きな要因は津波による被害であったことは明確である。津波の被害を受けると、復旧をするためには構内の水や泥、がれきの除去から開始する必要があるため、地震動による被害のみの場合よりも、復旧を開始する時点が遅れてしまうのが特徴である。また、浸水した電気関係の設備に関しては、詳細調査の上で、洗浄・修理を行って再使用するか、新規設備に取り換えるかを決定する。もし発注してから納入されるまでの期間が数ヵ月以上かかるような重要設備や備品が、新規に取り換えなければならない程の被害にあった場合には、どうしても復旧に時間を要してしまう。

一方、電力会社の復旧体制については、ある程度、企業間で連携した体制を構築して進められていたといえる。他電力会社や関連会社からの復旧人員の派遣や資機材の融通¹⁴⁾など、被災電力会社の要請に応えるように対応が実行された。それは、電力供給制約の切迫性や電力会社が持つ大規模な企業ネットワークによって実現できたと推察される。そのため、早期の復旧が困難となった主な要因は、東日本大震災クラスの巨大なハザードを想定した、発電所の被害を早期復旧が可能な範囲内に抑えるための対策が不十分だったことにあると考えられる。

2.1.3 地域間電力融通の制約

電力会社間で電力を融通するための地域間連系線の制約は、東日本大震災後に電力供給制約を生じた地域への電力融通を実施する上で大きな障害であった。そのため、地域間電力融通の制約は、電力供給制約が生じた要因の1つであるといえる。

東日本大震災後には、電力が不足している東北電力と東京電力に対して、西日本からの電力の融通と北海道電力からの融通が実施された。しかしながら、西日本には潜在的に供給可能な電力量が多く存在していたにもかかわらず、西日本から東日本への電力の融通可能な量には大きな制約があった。日本では東西の電力周波数が異なるというシステム上の問題により、西日本の60Hz帯から東日本50Hz帯へ融通する場合、電力の周波数を変換しなければならない。東日本大震災当時、東西周波数変換の容量は最大で103.5万kW¹⁵⁾であったことから、西日本からの電力は約100万kWが融通された。また、北海道電力からは、北本連系線を通じて本州に送られるのであるが、地震の影響で13日まで停止していた¹⁴⁾。復旧後、東京電力向けに約60万kWの融通が開始された。

以上のように、電力が不足している電力会社に対して、他電力会社からの電力融通という代替策が実施されたのであるが、東北電力と東京電力で喪失した供給力2,490万kW⁴⁾に比べて、電力融通によって確保できたのは160万kWとせいぜい約6%であった。そのため、現状の地域間連系線の送電可能な容量は、大規模な電源喪失が生じた場合において、かなり限定的であるということが分かる。

2.2 計画停電

2.2.1 実施概要

計画停電は、東京電力管内で発災後の2011年3月14日から3月28日の期間のうち、需給が逼迫した10日間だけ実施された。そして、4月8日には、計画停電を原則不実施として事実上の終了宣言がなされた。東北電力においても、

⁴⁾ 東北電力と東京電力の被害を受けた火力発電所と原子力発電所の喪失供給力の合計である。

計画停電の準備はしていたものの、実施するまでには至らなかった。

計画停電は、事前に停電するエリアと時間帯を公表し、需要側に対して前もって停電の準備を可能とすることで、停電による影響を可能な限り小さくすることができる。東京電力管内で実施された計画停電のスキームについては表 2.1 のとおりである。

表 2.1 計画停電のスキーム

エリア区分	供給区域を5つのグループ(500万kWの需要規模)
停電時間	6時20分から22時の間で、3時間程度
対象主体	エリア内の需要家
停電除外対象	・重要施設が集中する東京都心部 ・鉄道や医療機関等の重要施設(順次) ・被災地(順次)

資料：電気新聞（2011）¹⁴⁾ を基に筆者作成

実施スキームは、東京電力管内1都8県の市町村を5つのグループに分類し、1日のうち需要量が大きくなる6時20分から22時の間で、1グループ3時間程度、需給状況に応じて計画的に停電を実施した。約500万kWの需要規模を1グループとして分類し、大規模工場から一般家庭までのほとんどの需要家が停電の対象となった。ただし、東京都23区については、社会的な重要施設や設備が高密度に存在し、昼間人口が多く、国の基幹的な機能が集積しているという理由から停電対象外とした。また、今回の計画停電は国内で初めての経験であったことや、準備期間が短かったこともあり、実施していく中でさまざまな問題を解消していく様子が伺えた。鉄道については、計画停電初日は停電対象となっていたが、都心で勤務する人の通勤が困難となったことにより、翌3月15日には列車運行用の変電所を停電対象外とした。また、医療機関や被災地域についても停電対象から外す措置が急いで手をつけられた¹⁴⁾。

計画停電は、事前に停電する対象時間とグループを周知していても、その時間帯において電力供給力が確保できそうであれば停電が実施されないことも多く、同じグループであっても実施されない地域等もあった。表 2.2 に、計画停

電が実際に実施された時間帯とグループについてまとめた。

表 2.2 2011 年 3 月の東京電力管内における計画停電の実施状況

	6:20~10:00	9:20~13:00	12:20~16:00	13:50~17:30	15:20~19:00	16:50~20:30	18:20~22:00
3月14日 (月)							第5 (17:00~18:30) 11.3万軒
3月15日 (火)		第4 (10:00~13:00) 24.2万軒	第5 (13:00~16:00) 約70万軒		第1 (16:00~19:00) 約140万軒		第2 約200万軒
3月16日 (水)	第4 約53万軒	第5 約232万軒	第1 約239万軒		第2 約306万軒		第3 約262万軒
3月17日 (木)	第5 約85万軒	第1 約289万軒	第2 約322万軒	第5 約310万軒	第3 約290万軒	第1 約289万軒	第4 約231万軒
3月18日 (金)	第1 約250万軒	第2 約288万軒	第3 約266万軒		第4 約195万軒		第5 約369万軒
3月22日 (火)		第1 約250万軒	第2 約297万軒		第3 約257万軒		第4 約195万軒
3月23日 (水)					第4 約195万軒		第5 約272万軒
3月24日 (木)							第1 約250万軒
3月25日 (金)							第2 約297万軒
3月28日 (月)		第2 約155万軒					

資料：東京電力プレスリリース⁵を基に筆者作成

特徴的なのは、需給逼迫が激しかった 17 日であり、同時間帯に 2 グループを停電する措置が取られ、第 5 グループと第 1 グループの合計 374 万世帯は 1 日 2 回停電を実施することがあった。28 日には、各グループを細分化した新方式が導入され、第 2 グループの中の A (栃木県の一部)、B (埼玉県の一部)、C (千葉県の一部) が対象というように、停電対象地域がより細かい地域で把握することが可能となった。

2.2.2 社会的影響

計画停電が実施されると、停電エリアにおける停電除外対象者を除いたすべての需要家に影響が生じる。その中で、一般家庭、民間企業、医療機関への影響について整理する。

家庭への影響については、停電によってもたらされる不快さや不便さ、機会

⁵ 東京電力 Web サイトで 2011 年 3 月に公表されたプレスリリースに記載されている情報を参照している。
(<http://www.tepco.co.jp/cc/press/index-j.html>, 2014 年 11 月 27 日確認)

損失などによる精神的負担や追加的に必要となるコストが発生する。例えば、冷蔵庫が使用不可能となることから食料品を廃棄することやそれに伴う代替品の購入費などが発生する。このような一般的な影響のみならず、人口呼吸器や吸引器を在宅で使用している家庭にとっては、生命を維持する上で貴重な電源が遮断されるといった特殊な影響も存在する。

民間企業における計画停電への対応については、電話や訪問によるヒアリング調査を通してまとめている世一ら（2011）を参考に整理する¹⁶⁾。計画停電の対応における課題は、情報システムや生産ラインの停止及び再稼動に係る負担、非常用の自家発電設備の活用困難、顧客対応等におけるトラブル、従業員の勤務形態の変更という4つの課題が挙げられる。第1に、業務用システムのサーバーや生産ラインに自家発電機が接続されていない場合、情報システムや生産ラインを安全に停止させ、停電終了後に再立ち上げを行う必要があり、それに要する時間や手間によって業務が大幅に阻害されることがあった。さらに、計画停電実施の有無が発表されるのが前日のため、生産計画を立てるのが困難な事例があった。第2に、非常用として設置している自家発電設備は、通常の業務用として利用するのが難しく、使用できたものについても利用法や手順を確認しておかなかったために、さまざまな混乱があった。第3に、計画停電による従業員の出勤困難や部品・資材等の入手困難による業務の遅れに対して、納期を延長できるかどうかについて、取引先との間で個別に対応する必要があったが、契約書上では停電による業務の遅れが不可抗力であるかどうか不明確であり、どの程度取引先に認められるかといった問題が生じた。ちなみに、一部の企業では取引先に認めてもらえなかった事例もあった。第4に、一部の従業員に対する自宅待機や在宅勤務の指示や、製造業等では計画停電が実施されない夜間への勤務形態の変更を行われ、従業員に対する負担は大きかったといえる。以上のように、多くの企業が計画停電の実施を想定していなかったために、うまく対応できなかつた構図が想像できる。

医療施設は、最初から計画停電の対象外であったわけではなかったため、いくつかの医療機関では計画停電への対応を行いながら業務を継続している。医療機関に対する計画停電の影響に関しては、医療機器産業研究所（2011）によって調査¹⁷⁾されている。多くの医療施設では自家発電装置を持っているにもか

かわらず、計画停電下で通常通りの診療が継続できたのは救命救急センターで 5 割強、災害拠点病院やその他の医療機関で 4 割弱、救急告示病院で 2 割弱という結果であった。すなわち、計画停電下は、どこの医療機関においても通常の診療を受けることが必ずしも可能ではなかったという実態が明らかとなっている。また、中島（2011）は、横浜医療センターでの計画停電への対応について詳細な内容をまとめている¹⁸⁾。そこでは、計画停電が最初に実施される前日、計画停電の全体像が全くつかめない中、手さぐりで対応を始めざるを得なかった状況や、2 回停電が実施された 17 日の対応は、外来開始時間の繰り上げや復電時対応のためのスタッフの待機に係る人的要員の増強が必要となったことにより、今後同じパターンが繰り返されると対応困難であった状況などが記述されている。

その他、計画停電の問題として、停電区域では信号が停止することによって交通の麻痺や事故、高層ビルのエレベーターの停止では階段での上り下りが強いられるなど、非常に多岐に渡る影響が生じた。

2.3 電力使用制限令

2.3.1 実施概要

東日本大震災後の 2011 年の夏季には、電力需給の逼迫を抑制するために、電気事業法第 27 条に基づいた電力の使用制限令が実施され、対象者には半強制的に電力の需要を抑制される措置が取られた。震災後の 3 月 25 日には、政府による電力需給緊急対策本部で、需要が 1 年を通してピークとなる夏季に向けて、経済活動や国民生活の大幅な見直しを含む節電を呼び掛ける方針を決定した。政府では 4 月 28 日に、電力供給力確保の見通しを踏まえつつ、需要家の節電目標を一律 15%とした。これに応じて、民間の業界団体や企業において、自主的な取り組みが実施されることとなる。日本経済団体連合では、会員に対して「電力対策自主行動計画」⁶⁾の策定を求めるなどの取組がなされた。以降、多くの需

⁶⁾ 国民生活や経済活動に多大な影響を及ぼす計画停電の発動を回避するために経済界に働きかける取組を行った。

要家は自主的な節電の努力を続けてきたが、夏季は1年で電力需要のピークを迎えるため、需要抑制の実効性や需要家間の公平性を担保するために電力使用制限令が実施されることとなった。また、東北電力管内では、東日本大震災による発電所被害の影響のみならず、2011年7月に発生した新潟・福島豪雨により水力発電所が相次いで被害を受けたことも、加えて電力需給に影響を与えた。2011年の夏季に実施された電力使用制限令のスキームは表2.3のとおりである。

表 2.3 電力使用制限令のスキーム

	東北電力	東京電力
実施期間	2011年7月1日～9月9日	2011年7月1日～9月22日
対象時間帯	平日の9時から20時	
対象者	契約電力500kW以上の大口需要家	
内容	電力使用量前年度比15%の削減	
制限緩和措置	<ul style="list-style-type: none"> ・生命・身体の安全確保に不可欠な需要設備 ・安定的な経済活動・社会生活に不可欠な需要設備 ・被災地の復旧・復興に不可欠な需要設備 ・その他 	
義務	電気の使用状況についての状況報告書を経済産業大臣に提出(検針日から15日以内)	

資料：経済産業省の Web サイト⁷を基に筆者作成

実施期間については東北電力と東京電力で異なり、東北電力では7月1日から9月9日の約2ヵ月間、東京電力では7月1日から9月22日までの期間と発表された。対象となった時間帯は平日の9時から20時までである。しかし、実施期間は、東北電力管内と東京電力管内を含めた被災地に所在する事業所は9月2日まで、被災地以外の東京電力管内に所在する事業所は9月9日までに短縮された⁸。対象主体は東北電力・東京電力管内の契約電力500万kW以上の大

⁷ 経済産業省の Web サイトに公表されている「電気事業法第27条による電気使用制限について」の情報に基づき表を作成した。

(http://www.meti.go.jp/earthquake/shiyoseigen/#chapter1_1, 2014年11月27日確認)

⁸ 経済産業省の Web サイトに公表されている「電気事業法第27条に基づく電気の使用制限の緩和について」を参照した。

(<http://www.meti.go.jp/press/2011/08/20110830001/20110830001.pdf>, 2014年11月27日確認)

口需要家のみであり、15%の抑制が義務付けられた。これは、その事業所の前年同月時間帯における使用最大電力の値（1時間単位）の15%削減した値が使用できる電力の限度として設定された。制限緩和措置が取られたのは、医療や介護、公衆衛生のような生命・身体の安全確保に不可欠な需要設備、情報処理システムやクリーンルームを有する設備、人流・物流に関わる設備といった安定的な経済活動・社会生活に不可欠な需要設備、被災地の公共機関や災害廃棄物処理を行う処理施設、被災公共団体の要請により被災者を雇用する事業所等、被災地の復旧・復興に不可欠な需要設備には一定の制限緩和措置が取られた。

使用制限の対象者は、実施期間における電気の使用状況について、所定の報告書様式に従って経済産業大臣に提出することが義務付けられた。故意による使用制限違反については100万円以下の罰金の対象とされた。また、同一の会社内の複数の需要設備あるいは、同業・異業種の需要設備で共同して使用最大電力の抑制に取り組む共同使用制限スキームが設定され、単一の需要設備での電力使用抑制が難しい場合の救済措置とされた。

2.3.2 社会的影響

電力使用制限令による影響を整理する上では、対象である電力の大口需要家のみとなるが、2011年の夏季はすべての需要家に節電を実施する社会的な要請が高まっていた。そのため、一般家庭や電力使用制限令の対象外であった民間企業も含めて、社会的影響について整理する。

家庭への影響については、西尾ら（2012）による東京電力管内の家庭を対象としたアンケート調査を基に整理する¹⁹⁾。家庭に対しては電力使用制限令による法的な強制力はなかったものの、東京電力管内の約3割の世帯で15%以上の節電が達成された。節電量の4割程度はエアコンの使用制限であり、その他、照明の点灯時間減、エアコンや冷蔵庫の温度調整などがあった。

民間企業の事業所への影響については木村ら（2012）が、全国の事業所に対するアンケート調査により、実施された節電対策、それに付随する費用負担や業務影響等を調査している²⁰⁾。この調査によると、大口需要家の工場では83%が勤務時間のシフト対策、33%が自家発電設備による節電対策が実施された。これら対策に伴う費用負担は、大口需要家の工場での費用平均は約1500万円で、

その 50%は自家発電対策費が占めていた一方、オフィスや店舗等の業務部門では、削減量の 70%以上が照明・空調対策によるものであった。業務部門の半数以上では、節電費用が生じなかった。費用面で考察すると、特に影響の大きかったのは大口需要家の工場といった産業部門であり、自家発電対策として多額のコストを掛けていることが分かる。さらに、産業部門の大半の事業所が時間シフト対策を実施しており、従業員への負担といった形で影響した。一部の事業所では、生産プロセスの稼働減によって、直接的に逸失損失が生じたところもあった。

2.4 電力供給制約による社会的影響の特性

東日本大震災後の電力供給制約における社会的影響の特徴は、物理的に直接大きな被害を受けていない地域において、電力の使用が半強制的に制限される形で影響することである。その範囲は、一部を除いて電力会社の供給区域全域になるため、震災による被災範囲と比較しても非常に広範囲である。被災を免れた地域に位置する家庭や事業者は、電力を使用して通常の生活や経済活動などを維持し、継続するため、それらが阻害されることによるインパクトは大きなものとなる。

東日本大震災後の電力供給制約は、これまで発生した自然災害に起因する電力被害による社会的様相とは異なる特性を持つ。過去に発生した自然災害による電力被害に伴う主要な問題は、被災地内の送変電設備の被害に伴う停電による情報伝達手段の途絶や生活の困難といった影響であり、基本的には被災地の問題であったといえる。例えば、1995年1月17日の阪神・淡路大震災において、電力インフラの被害で影響が問題となったのは、被災地の一部において、送変電施設がすべて復旧するまでの6日間停電が続いたことであった。当時、水力発電所と原子力発電所の被害はなかったが、運転中の火力発電所のうち12ユニットが自動停止し、176万kWの供給制約が生じた²¹⁾。そのうち、162.5万kWは主要設備に被害を受けることなく当日中に運転を再開することができた。さらに、稼働停止中だった揚水発電所や火力発電所を稼働させる対応を行

い、地震直後は需要が 330 万 kW 低下した⁹こともあり、発電所被害による電力供給能力の低下に起因した需給逼迫は生じなかった。その他、2007 年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震では、柏崎刈羽原子力発電所が大きな被害を受け、稼働停止したが、それによって供給区域の電力供給制約が生じるということはない。そのため、発電所被害に起因する電力供給制約は、海溝型地震のように広域に甚大な被害が発生する災害における特有のリスクであり、被災範囲が比較的局所的である直下型地震の場合には、電力供給制約が生じる可能性は低いということがいえる。ただし、発電所が集中的に立地している地域に甚大な被害を及ぼすような直下型地震が発生する場合には、電力供給制約が生じる可能性は十分にあることには留意しておくべきである。

今後、日本では、南海トラフ地震のような大規模な海溝型地震の発生が懸念されている。このような災害が発生した場合には、電力供給制約が生じることが予想される。そのため、社会的影響が広範囲に広がる電力供給制約のリスクを軽減するための対策の必要性は明らかであるといえる。

⁹ 関西電力の Web サイトから、「総需要は直前の 1270 万 kW から 940 万 kW にまで落ち込んでいた」の部分を参照した。
(<http://www.kepcoco.jp/corporate/energy/supply/days/>, 2014 年 11 月 27 日 確認)

参考文献

- 11) 原子力安全・保安部会電力安全小委員会（2012）電気設備地震対策ワーキンググループ報告書。
（http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/shingikai/120/8/houkokusho.pdf, 2014年11月27日確認）
- 12) 火力原子力発電技術協会震災復旧調査委員会（2012）東北地方太平洋沖地震火力発電所の被害と復旧調査報告書，震災復旧調査委員会。
- 13) 土木学会エネルギー委員会新技術・エネルギー小委員会（2013）東日本大震災におけるエネルギー施設（火力・水力・送変電・ガス）の被害状況と今後への展開について報告書（中間報告）。
- 14) 電気新聞（2011）東日本大震災の記録【原子力事故と計画停電】，日本電気協力新聞部。
- 15) 地域間連系線等の強化に関するマスタープラン研究会（2012）中間報告。
（<http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/chiikikanrenkeisen/report01.html>, 2014年11月27日確認）
- 16) 世一乃里子・小林亜希・柴田慎士（2011）計画停電による影響と企業に求められる夏期の電力需給対策，東京海上日動リスクコンサルティング株式会社，TRC EYE，Vol.272。
- 17) 渡辺敏・入村和子・古幡博・鳥井賢治・日吉和彦・中野壮陸（2011）計画停電（発電容量不足）に伴う医療機器等の使用状況に関する緊急調査，財団法人医療機器センター附属医療機器産業研究所，リサーチペーパーNo.4。
- 18) 中島治（2011）：計画停電の対応とその改善，国立病院臨床検査技師協会，会報71号，pp.35-43。
- 19) 西尾健一郎・大藤建太（2012）家庭における2011年夏の節電の実態，研究報告，電力中央研究所，Y11014。
- 20) 木村宰・西尾健一郎・山口順之・野田冬彦（2012）事業所アンケート調査に基づく2011年夏の節電実態－東日本地域を中心とした分析－，研究報告，電力中央研究所，Y12002。
- 21) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会（1997）阪神・淡路大震災調査報告ライフライン施設の被害と復旧，土木学会。

第3章 南海トラフ巨大地震による電力供給制約の推計

3.1 南海トラフ巨大地震の被害想定

南海トラフ地震は、東北地方太平洋沖地震と同じ海溝型の地震であり、同時に津波が発生するという特性を持つ。歴史的には、概ね90年から150年の間隔で、繰り返し大規模な地震が発生している。

中央防災会議では、これまで対象としてきた南海トラフで発生する大規模地震の想定は、過去に発生した地震と同程度の地震に対して備えることを基本としてきた。しかしながら、2011年の東北地方太平洋沖地震における対象地震や津波との食い違いへの反省から、できるだけ過去に遡って地震・津波堆積物調査、海岸地形等の調査などの科学的知見に基づく調査を行い、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきであるという対策の姿勢における基本方針が変更された²²⁾。そこで検討されたのが、南海トラフ巨大地震の震源断層モデルである。これは、南海トラフで発生した過去の地震に加えて、世界の海溝型地震の震源断層モデルの特徴等を整理して作られ、震源断層モデルの強震動生成域が5つと津波断層モデルの大すべり域が11ケース設定されている。

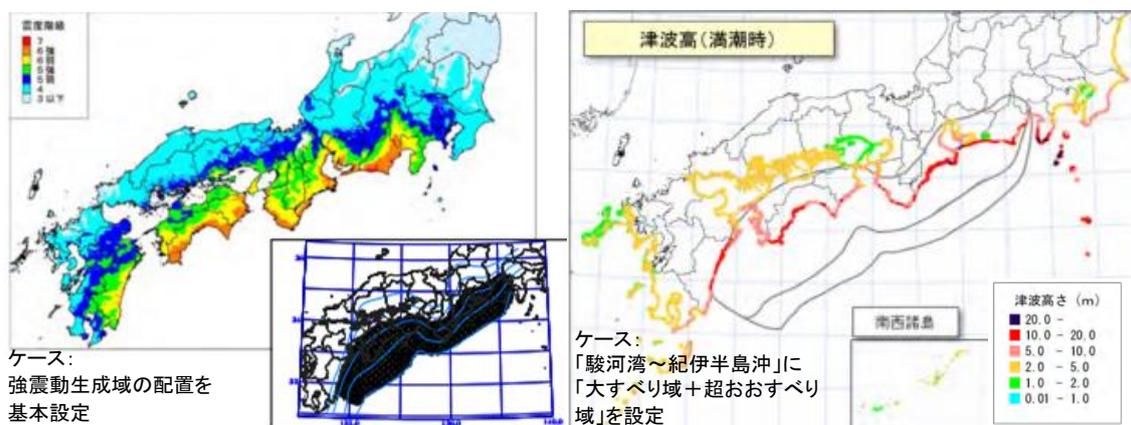


図 3.1 南海トラフ巨大地震の予想震度分布と津波高さ

資料：南海トラフ巨大地震モデル検討会（2011）²²⁾から引用

南海トラフ巨大地震モデルの被害想定では、震度 6 弱以上または浸水深 30cm 以上の浸水面積が 10ha 以上となる市区町村は、30 都府県の 734 市区町村に及び影響人口は全国の約 53%を占める超広域にわたるものである²²⁾。最大で死者は約 32 万人、経済被害額は推定約 200 兆円に上ると推計されている²³⁾。すなわち、もしも発生した場合には、過去に類を見ない程の巨大災害となることが予想される。

また、内閣府（2013）は、南海トラフ巨大地震による電力被害の様相について公表している²⁴⁾。地震直後の状況として、需給バランス等の影響により、西日本の多くの地域で停電するとされている。1 日後には、供給ネットワークの切り替え等により、需給バランス等に起因した停電は、順次解消され、停電は送電線被害に起因した停電のみになる。電力需要の回復が供給能力を上回る場合には、停電エリア以外でも需要抑制が行われるとされているが、1 ヶ月後には電力事業者間で広域的に電力を融通すれば、電力需要の約 9 割まで回復するという被害想定が提示されている。ただし、ここでは、地域毎の電力の制約量がどの程度かを詳細に把握することができない。また、本被害想定は、行政のみならず、個別の施設管理者、民間企業、地域、個人が、防災・減災対策を検討する上で、備えるべきことを具体的に確認するための材料として作成されたものであり、南海トラフ巨大地震による電力供給制約の課題を抽出するために作成されたものではない。

3.2 推計手法

3.2.1 推計の考え方

本推計は、電力供給制約の脆弱点を把握できるような推計手法を提示することを目的とする。具体的には、地域間電力融通における課題を抽出するために、地域間の電力量を可視化できる手法を目指す。

内閣府の被害想定では、発電所の地震による被害と復旧期間の関係のみで推計されているため、1 ヶ月以上の予想がされていなかったが、本研究では津波被害を考慮することで、それ以上の時期を踏まえた推計とし、発災後 1 年間の

電力供給制約の評価を試みる。また、地域毎の制約量を提示するため、災害後の供給量と需要量を踏まえた電力会社別に制約量を推計する。そこで、南海トラフ巨大地震によって被害を受ける可能性のある発電所を持つ、東京電力、中部電力、北陸電力、関西電力、中国電力、四国電力、九州電力の7電力会社管轄域を対象とする。なお、算出に用いる発電所はすべて一般電気事業者と卸電気事業者、卸供給事業者が所有するものに限る¹⁰。地域毎の制約量を推計することで、電力が不足している地域に対して、電力供給力が余っている地域からの電力融通によって、どの程度供給量がカバーできるのかという評価が可能となる。そのため、地域間連系線の容量の制約といった課題を見つけることができる。

推計結果については、電力供給制約が厳しいシナリオと緩いシナリオの2つを提示し、幅を持たせた表現を行うこととする。シナリオの設定は表3.1の通りである。電力供給が厳しいシナリオとして、南海トラフ巨大地震の強震動生成域が陸側に配置されたケースを設定し、津波を生成する大すべり域が「駿河湾～紀伊半島沖」に設定されたケースを設定する。この際の地震が発生する月を電力需要が1年の中で高くなる7月に設定する¹¹。一方、電力供給制約が緩いシナリオとして、強震動生成域を基本ケースとし、津波生成域のケースは同じとする。地震発生月は電力需要が1年の中で低くなる春の4月に設定する¹²。津波の生成域を変化させない理由は、津波被害の地域間の大きさが結果に反映されないようにするためである。

次に、原子力発電所の稼働状況のケース設定を表3.2に示す。原子力発電所は、現在すべて稼働停止しているが、今後の再稼働の状況は不確実なものであるため、現状の未稼働のケースと50%稼働している場合の2ケースを設定した。

¹⁰ 一般電気事業者は北海道電力、東北電力、東京電力、中部電力、北陸電力、関西電力、中国電力、四国電力、九州電力、沖縄電力の電力会社10社のことを指す。卸電気事業者は200万kWを超える発電設備を有し、一般事業者に対して電気を供給する事業者のことを指す。卸供給事業者は200万kW以下の事業者のことを指す。

¹¹ 1年間で需要が最も高い月は一般的に8月であるが、発災後2ヶ月間が電力の供給力が著しく低下する期間であることを踏まえて、2ヶ月間の需要が最も高くなる発生月として7月を選択した。

¹² 脚注11と同様で、2ヶ月間の需要が最も低くなる発生月として4月を選択した。

未稼働のケースは、すべての原子力発電所の原子力発電所を 0 として設定し、50%稼働ケースでは、すべての原子力発電所が再稼働しているという前提で発電容量を 2 分の 1 として設定している。その理由は、再稼働している原子力発電所を恣意的に決めてしまうと、最終的に地域間電力融通を行う場合に、電力供給量に地域的な偏りが生まれてしまうためである。

表 3.1 電力供給制約のシナリオ設定

電力供給制約のシナリオ	南海トラフ巨大地震の被害想定ケース		需要量の基準(発生月)
	強震動生成域	津波大すべり域	
厳しい	陸側	駿河湾～紀伊半島	7月
緩い	基本	駿河湾～紀伊半島	4月

表 3.2 原子力発電所の稼働状況のケース設定

原子力発電所の稼働状況	未稼働	50%稼働
設定	すべての原子力発電容量を0	すべての原子力発電所の発電容量を1/2

3.2.2 手法の特性

南海トラフ巨大地震後の電力供給制約を評価するために、電力需給ギャップを推計する。本手法は、電力供給可能量と電力需要量を別途推計し、その差分を電力需給ギャップとして定義する。そして、電力供給可能量と電力需要量を推計する手法について検討する。

電力供給可能量については、東日本大震災後の発電所の被害と復旧期間の関係を基にして、南海トラフ巨大地震によって被害を受ける発電所の復旧期間を決定する。発電所が復旧するまでの期間は発電できないものとして、復旧時点以降には発電可能な電力量に計上する。ただし、実際発電所の復旧期間を決める要素は、設備被害の種類や数、復旧に必要な人員の確保や資材の調達等があり、詳細に予測するためには非常に多くの変数を設定する必要がある。しかしながら、東日本大震災で被災した発電所のサンプル数は統計的な回帰式を作成

するに耐えられる量ではなく、さらに入手可能なデータが制約されることため、一定の外力の大きさの想定から発電所の復旧期間を簡易的に予測する手法を用いることとする。

災害後の電力需要量については、その被害規模に応じて需要が減少するため、需要減少を考慮しなければならない。災害後の電力需要減少に関する研究はいくつかなされている。目黒ら（1995）²⁵⁾や秦ら（2002）^{26) 27)}は、保存が困難で、供給と消費が同時であるという電力の性質をもとに、災害後の電力供給量の変動から災害状況を評価する手法を提案してきた。しかしながら、これらは災害後の建物被害の状況を把握することが目的であり、災害後の電力需要量の変動を予測するものではない。飯田ら（2006）は、阪神・淡路大震災後の電力需要変動を基にした地震後の電力需要予測モデルを構築することで、地震発生後には建物被害の評価をより詳細に行い、平常時においては地震後の電力需要の予測を可能とした²⁸⁾。ただし、飯田らの手法を適用するには、すべての電力会社の配電エリア毎の過去の詳細な電力需給データが必要となる。さらに、南海トラフ巨大地震では津波被害が加わることから、地震のみが考慮されている飯田らのモデルをそのまま適用することはできず、東日本大震災に適用したモデルに作り直す必要がある。ただし、需要量の推計は、供給可能量の推計と合わせて、災害後数ヶ月間の需要変動を予測する必要がある。そこで、東日本大震災後の被害と電力需要減少の関係から簡易的に電力需要量を推計できる手法を用いることとする。電力は家庭や民間企業などさまざまな組織で使用されるため、詳細に推計する上では需要家の分類毎に被害と電力需要減少を考慮する必要があるが、本推計では電力の大口需要家である製造業の需要変化を代表値として、電力需要変化を推計することとする。具体的には、東日本大震災後の鉱工業生産指数の変化率を月間の電力需要変化率が同程度であると仮定した予測モデルを作成し、鉱工業生産指数の変化率を説明変数として、電力需要の変化率を被説明変数とした回帰式により推計する。

以上の考え方により、図 3.2 に需給ギャップの推計プロセスのイメージを示す。

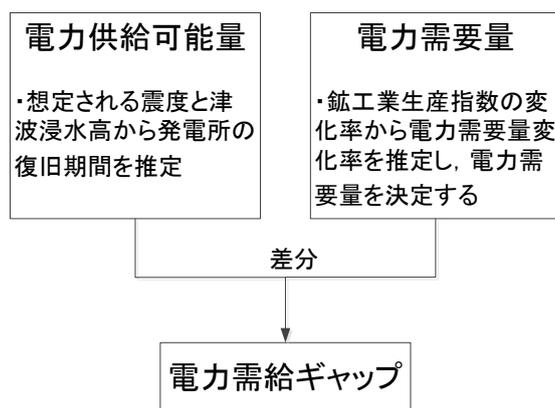


図 3.2 電力需給ギャップの推計プロセスのイメージ

3.3 電力供給可能量の推計

3.3.1 推計のプロセス

電力供給可能量の推計イメージを図 3.3 に示す。まず被災する火力発電所と原子力発電所の復旧期間を推計し、時系列に喪失供給量を決定する。被災発電所が復旧するまでの期間は、その発電所の発電容量分を喪失供給量として、電力会社管内の発電可能量から除くこととする。そして、復旧が完了した時点から発電可能量に計上することとする。

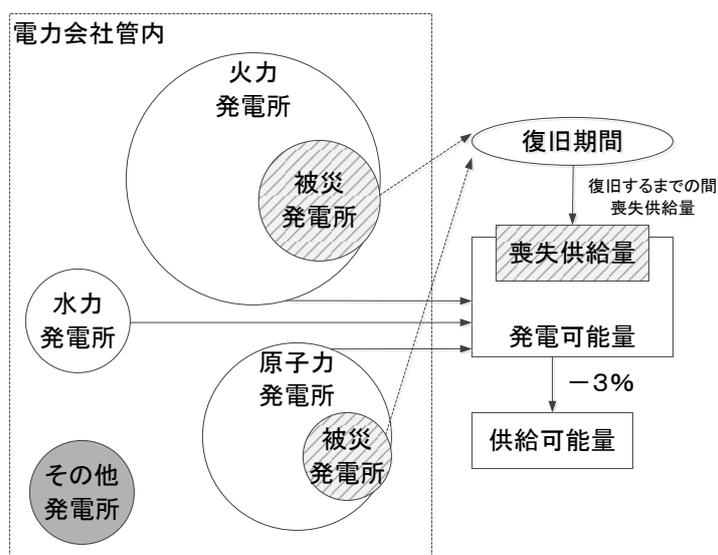


図 3.3 電力供給可能量の推計イメージ

火力発電所と原子力発電所については、東日本大震災における発電所の被害と復旧期間の関係に基づいて推計を行う。水力発電所については、東日本大震災において発電への影響は少なからずあったものの、ほとんどの発電所が翌日に稼働したことから、水力発電所の稼働状況は影響無として翌日から発電可能量として計上する。ただし、水力発電所の認可供給量をすべて計上するのではなく、設備利用率の過去5年間の平均¹³を設定した。また、太陽光発電や風力発電所等のその他の発電所に関しては、発電量が少ないため、推計には考慮しないこととした。

発電可能量はすべてを供給することができるわけではなく、ある程度の予備力は安定的に電力を供給する上で必要であることから、発電可能量の3%を引いた量を電力供給可能量として定義する。

3.3.2 発電所の復旧期間の設定

火力発電所の復旧期間の設定については、東日本大震災において被害が生じた発電所の所在地における震度と津波浸水高の関係から決定する。発電所における震度と津波浸水高と復旧期間を表3.3に整理する¹⁴。津波浸水高については、発電所所在地の地面からの浸水の高さを採用している。また、原町火力発電所は、震災直後に福島第一原発事故の影響で2011年3月15日から4月21日まで屋内退避区域に指定されていたこと等により復旧が遅れたこともあり、物理的な被害の影響のみではないことには留意する必要がある。八戸火力発電所は、

¹³ 資源エネルギー庁の Web サイトで公表されている電力調査統計の 2-(4)発電設備利用率の 2006 年から 2010 年のデータを参照した。

(<http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/denryoku/result-2.htm>, 2014 年 11 月 27 日確認)

¹⁴ 震度と津波浸水高に関しては、火力発電技術協会 (2012)²⁹⁾を参照した。また、報告書に記載されていない場合、震度については気象庁 Web サイトで公表されている市町村別震度を参照した。各発電所の復旧期間に関しては、東北電力の Web サイトで公表されているプレスリリースと東京電力の Web サイトで公表されているプレスリリースと火力発電技術協会 (2012)²⁹⁾を参照した。

(http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/201212/201212nen_furoku_5.pdf, 2014 年 11 月 27 日確認)

(<http://www.tohoku-epco.co.jp/news/2011index.html>, 2014 年 11 月 27 日確認)

(<http://www.tepco.co.jp/cc/press/index1112-j.html>, 2014 年 11 月 27 日確認)

0.5cm の浸水が報告されているが、津波による発電所の被害は皆無だったため、無とした。

表 3.3 東日本大震災時稼働中であった被災火力発電所の復旧期間

	No	発電所	系列	震度	浸水高 (m)	復旧期間(日)
津波浸水有	1	原町火力	1号機	6弱	13.0	777
	2	仙台火力	4号機	6弱	4.7	334
	3	広野火力	2号機	6弱	4.0	122
	4		4号機			125
	5	新仙台火力	1号機	6弱	3.0	291
	6	新地	2号機	6強	3.0	283
	7	勿来	7号機	6弱	1.5	285
	8		9号機	6弱	0.4	111
	9	常陸那珂火力	1号機	6弱	1.5	65
	10	鹿島火力	2号機	6弱	1.0	27
	11		3号機			26
	12		5号機			28
	13		6号機			40
津波浸水無	14	鹿島共同	1号機	6弱	無	36
	15		3号機			88
	16	東扇島火力	1号機	5強	無	13
	17	八戸火力	3号機	5強	無 [*]	9
	18	千葉火力	2号1軸	5強	無	1
	19	大井火力	2号機	5弱	無	2
	20		3号機			6
	21	能代火力	1号機	5弱	無	2
	22		2号機			3
	23	酒田共同火力	1号機	5弱	無	1
	24		2号機			3
	25	秋田火力	2号機	5弱	無	1
	26		3号機			1
	27		4号機			1
	28	五井火力	1号機	5弱	無	1

資料：火力原子力発電技術協会（2012）²⁹⁾、気象庁、東北電力、東京電力 Web サイト¹⁴を基に筆者作成

表 3.3 より、津波浸水被害が有る場合と無い場合では、被害による復旧期間への影響が異なることが分かるため、復旧期間の決定指標は津波浸水の有無に

よって分類する。

まず、津波浸水被害が無い場合は、震度のみによって決定する。表 3.3 を基に復旧期間の指標を決定するが、震度 6 強と 7 のサンプルがないため、予測式を作成する。まず、震度 4 以下の場合は影響がほとんどないため影響は無とし、震度 5 弱以上から発電所への影響が生じることとする。ただし、表 3.3 に記載している発電所以外に、震度 5 弱と 5 強においては地震の揺れによって稼働停止しなかった発電所は多く存在する。そのため、平均値を算出する上では、母数に稼働停止しなかった発電所のユニットの数¹⁵を含めた数値を用いる。すると、震度 5 弱の復旧期間の平均値は 0.7、震度 5 強は 1.6 である。ただ、震度 6 弱で津波浸水被害が無いサンプルは 2 つしかなく、その平均値は 62 日であり、表 3.3 における N.9~13 のように震度 6 弱で津波を有している発電所の復旧期間よりも短いことから、震度 6 弱については 6 強と 7 の復旧期間の予測式から算出された値を指標とする。

予測式を作成するために、震度 5 弱を 0 と置き、震度 5 強を 1、震度 6 弱を 2、震度 6 強を 3、震度 7 を 4 と仮の変数に変換する。そして、震度 6 弱以降の被害と復旧期間の関係を線形であると仮定し、No.14~28 と震度 5 弱と 5 強の稼働停止しなかったサンプルを含め、震度と復旧期間の関係から予測式を作成した。その結果、震度 6 弱は 25.7、震度 6 強は 39.5、震度 7 は 53.2 と算出された。以上の方法によって算出された復旧期間と実際に推計に用いる復旧期間の指標を表 3.4 に示す。推計に用いる復旧期間について、震度 5 弱と震度 5 強は平均値を四捨五入した日数とし、予測式によって算出された復旧期間はある程度分かりやすい指標にするために、震度 6 弱を 1 ヶ月（30 日）、震度 6 強を 1 ヶ月半（45 日）、震度 7 を 2 ヶ月（60 日）と設定した。

表 3.4 津波浸水無の発電所復旧期間の指標

震度	4以下	5弱	5強	6弱	6強	7
平均値と予測式による復旧期間(日)	影響無	0.7	1.6	25.7	39.5	53.2
推計に用いる復旧期間(日)	影響無	1	2	30	45	60

¹⁵ 震度 5 弱の影響を受けた発電所のユニット数は 30、震度 5 強は 14 とした。

次に、津波浸水被害が有る場合の復旧期間の指標を決定する。表 3.3 における No.1～13 の発電所の復旧日数を被説明変数、震度と津波浸水高を説明変数として重回帰式[1]を作成した ($R^2=0.640$)。津波浸水高については、計算上ですべて 1 以上に統一するために単位を cm に変換することとする。

$$D_t = 76.459S + 0.525h - 80.361 \quad [1]$$

ここで、 D_t ：津波浸水有の発電所の復旧期間（日）、 h ：津波浸水高さ（cm）、 S ：震度（仮の変数）とする。

以上より、津波浸水被害が無い場合の発電所の復旧期間を決定する際は、表 3.4 の復旧期間を適用し、津波浸水被害が有る場合の発電所の復旧期間は[1]式から算出する。発災時の火力発電所の設備利用率は、直後に発電可能な火力発電所の総出力に過去 5 年間の設備利用率¹⁶を用いて直後の発電可能量とし、2 日後には設備利用率を 1 として算出した。

次に、原子力発電所の復旧期間を推計する手法を説明する。東日本大震災において、震度 6 弱の被害を受けた女川原子力発電所では稼働停止したことを踏まえて、震度 6 弱以上において稼働停止すると設定する。地震の被害を受けてからの復旧期間は、本推計においては復旧しないと仮定する。

3.3.3 南海トラフ巨大地震への適用

南海トラフ巨大地震による電力供給制約を推計する対象の 7 電力会社管轄域において、火力発電所と原子力発電所の所在する市町村の想定震度と想定津波高の平均¹⁷を推計に用いる。津波の浸水被害を受ける発電所においては、浸水高を指標としていることから、想定津波高の平均から発電所の所在地の標高¹⁸

¹⁶ 脚注 13 と同様である。

¹⁷ 想定震度と想定津波高の平均データは、内閣府防災の Web サイトで公表されている資料 1-6 市町村別最大震度一覧表と資料 1-3 市町村別平均津波高一覧表<満潮位>を参照した。

(http://www.bousai.go.jp/nankaitrough_info.html, 2014 年 11 月 27 日確認)

¹⁸ 国土交通省国土地理院の Web サイトで公開されている「標高がわかる Web 地図」において、各発電所の所在地から標高を割り出した。(http://www.gsi.go.jp/johofukyu/hyoko_system.html, 2014 年 11 月 27 日確認)

を差し引いて浸水高とする。ただし、津波の浸水被害を受けるかどうかは、護岸や防潮堤の高さよりも高い津波が襲う地域の発電所のみとする。火力発電所の護岸や防潮堤は発電所毎に異なるが、東日本大震災で被災した火力発電所の多くはおおむね 4m 前後²⁹⁾であることを考慮し、すべての火力発電所の護岸や防潮堤の高さを 4m と仮定する。そのため、当該地域において 4m を超える津波が来襲する場合に、津波に浸水被害を受けると判断する。

表 3.4 に示す指標と [1] 式を用いて、対象とする全火力発電所の想定震度と想定浸水高の組み合わせから、復旧期間の推計を行う。そして、原子力発電所と水力発電所における発電可能量と火力発電所の推定復旧期間を基に決定した発電可能量を合わせて、発災から 1 年間における発電可能量を各電力会社管轄域別に算出する。それらに 3% マージンを引いたものを電力会社管轄域別の電力供給可能量とした。

3.4 電力需要量の推計

3.4.1 推計のプロセス

電力需要を推計する上で、鉱工業生産指数 (Indices of Industrial Production: IIP) の前年同月比¹⁹⁾を代表値として電力需要変化モデルを作成する。まず、電力需要変化率を IIP の前年同月比として捉える上で妥当な指標かについて確認するために、東日本大震災後の電力需給の前年同月比と比較を行う。2011 年 3 月から 2012 年 2 月までの 1 時間毎の電力需給実績のデータを用いて、各月における 1 時間毎の需給実績の前年同月比の平均を算出した²⁰⁾。都道府県別の IIP 前年同月比²¹⁾を電力会社管轄域毎にまとめるために、電力会社管轄域に占める都道府

¹⁹⁾ 2011 年 3 月から 2012 年 2 月までの鉱工業生産指数の前年同月比である。

²⁰⁾ 東北電力と東京電力の Web サイトに公表されている 2010 年度と 2011 年度における 1 時間毎の需給実績のデータを用いた。

(<http://setsuden.tohoku-epco.co.jp/graph.html>, 2014 年 11 月 27 日確認)

(<http://www.tepco.co.jp/forecast/index-j.html>, 2014 年 11 月 27 日確認)

²¹⁾ 東北電力と東京電力管内の各都道府県の Web サイト (2014 年 11 月 27 日確認) で公表されている 2010 年度と 2011 年度の鉱工業生産指数のデータを用いた。

県別の GDP 比(2009 年度) を IIP 変化率の比と仮定し，東京電力管轄域と東北電力管轄域毎の IIP 前年同月比に按分した．東北電力管轄域における IIP の前年同月比と電力需給実績の前年同月比の比較を図 3.4，東京電力管轄域を図 3.5 に示す．

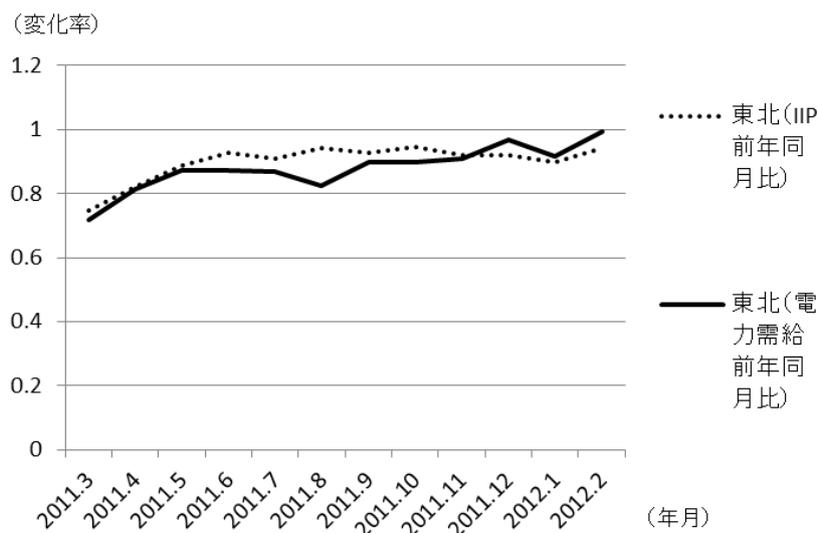


図 3.4 東北電力管轄域における IIP 前年同月比と電力需給前年同月比の比較

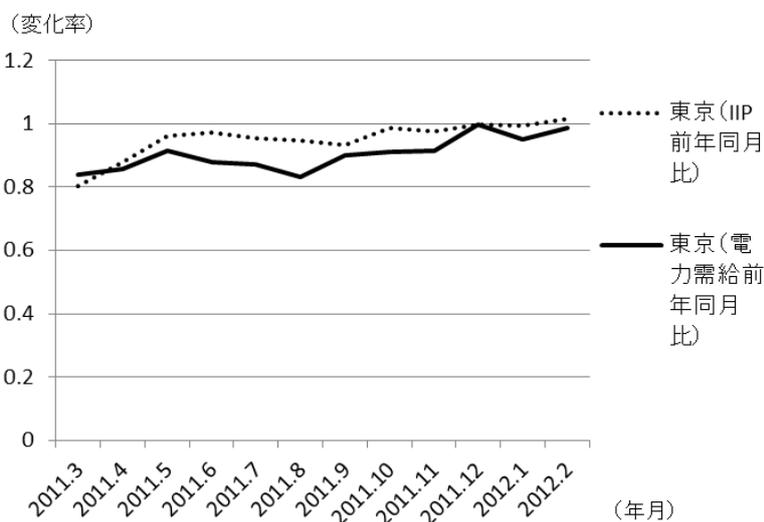


図 3.5 東京電力管轄域における IIP 前年同月比と電力需給前年同月比の比較

資料：東北電力，東京電力の Web サイト²⁰，東北電力と東京電力管内の各都道府県の Web サイト²¹ を基に筆者作成

図 3.4 と図 3.5 から、夏の気温が上昇する季節において誤差が大きくなっているが、それ以外では誤差が小さいことが分かる。これは、2011 年夏の節電要請によって両電力会社管轄域では製造業のみならず、非製造業、自治体、家庭等さまざまな主体で節電を実施したことが、電力需給の前年同月比には含まれていると推察される。そのため、本推計においても東日本大震災後と同等の需要変化モデルを作成するために、節電分を加えた電力需要変化率とする。そこで、2011 年 3 月から 2012 年 2 月までの両電力会社管轄域における月間平均気温と IIP 前年同月比を説明変数（N=24）とし、電力需給前年同月比を被説明変数として、[2]の重回帰式を作成した。地域区分はすべて電力会社管轄域毎とする。

$$R_{PS} = 0.862R_{IIP} - 0.004T + 0.142 \quad [2]$$

ここで、 R_{PS} ：電力需要変化率、 R_{IIP} ：IIP 変化率、 T ：電力会社管轄域における月間平均気温である。

調整済み決定係数は 0.800 であり、推計値は統計的にある程度有意であると考えられる。そのため、[2]式において、東日本大震災における電力需要変化モデルを IIP 変化率と月間平均気温を用いて表すこととする。

次に、南海トラフ巨大地震後の IIP 変化率を推計するために、東日本大震災後の被害との関係から推計する手法を用いる。そこで、説明変数として、当該地域における製造業従業員数を設定し、災害後の IIP 変化率を推計することとする。電力需要推計のイメージを図 3.6 に示す。

3.4.2 鉱工業生産指数変化率の推計

南海トラフ巨大地震後の被災都道府県の IIP を推計するために、東日本大震災後の被災都道府県における 1 年間の各月における IIP 前年同月比を用いる。東日本大震災で被災した東北電力と東京電力管轄域の都道府県において、震度範囲に占める製造業従業員数の割合（以下、製造業従業員率）と津波浸水域に占める人口の割合（以下、津波人口率）を算出し、その結果を表 3.5 に示す。

・南海トラフ巨大地震

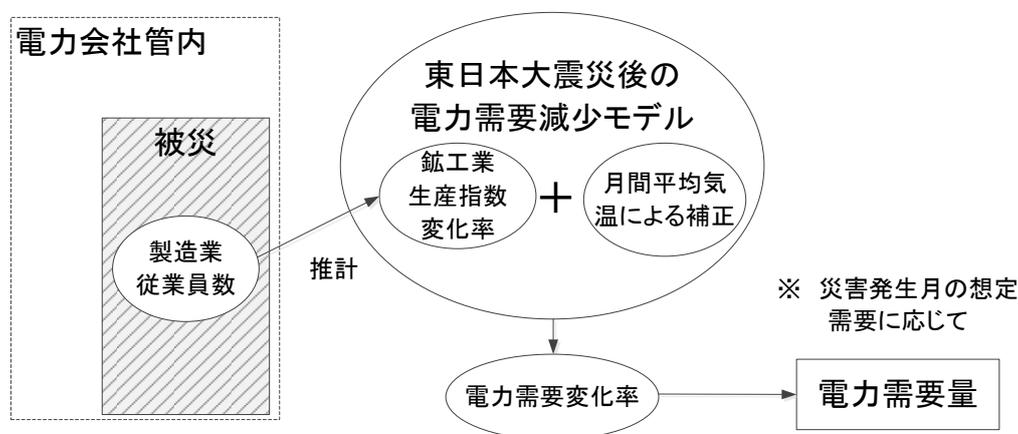


図 3.6 電力需要量推計のイメージ

表 3.5 東京電力・東北電力管轄域の都道府県における東日本大震災の震度範囲に占める製造業従業員率と津波人口率

都道府県	震度範囲に占める製造業従業員率					津波人口率
	6強以上	6弱	5強	5弱	4以下	
宮城県	0.391	0.469	0.119	0.020	0	0.143
茨城県	0.238	0.493	0.267	0.002	0	0.014
福島県	0.163	0.500	0.307	0.016	0.014	0.036
栃木県	0.313	0.114	0.529	0.044	0	0
青森県	0	0	0.310	0.106	0.585	0.012
岩手県	0	0.346	0.461	0.137	0.056	0.082
秋田県	0	0	0.251	0.233	0.516	0
山形県	0	0	0.200	0.544	0.256	0
新潟県	0	0	0	0.024	0.976	0
群馬県	0	0.052	0.571	0.274	0.103	0
埼玉県	0	0.001	0.429	0.449	0.120	0
千葉県	0	0.030	0.413	0.491	0.066	0.006
東京都	0	0	0.224	0.611	0.165	0
神奈川県	0	0	0.171	0.509	0.320	0
山梨県	0	0	0.096	0.461	0.443	0

震度範囲に占める製造業従業員率は、都道府県内の市町村における震度と製造業従業員数の関係から都道府県毎に震度範囲（6強以上，6弱，5強，5弱，4以下）毎に求めた²²。また，津波人口率は，都道府県毎の推定浸水域に占める

²² 経済産業省大臣官房調査統計グループによる平成22年工業統計表「市町村編」を参照した。
(<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2.html>, 2014年11月27日確認)

人口の割合と総人口の関係から求めた²³。本来ならば、津波浸水域における製造業従業員数の割合を用いるべきであるが、津波浸水域における製造業従業員数のデータは入手困難であるため、津波人口率で算出することとした。そして、震度範囲に占める製造業従業員率と津波人口率を説明変数、被災当月～11ヵ月後までの IIP の前年同月比を被説明変数として回帰式を作成する。表 3.5 に示した震度範囲に占める製造業従業員率と津波人口率毎に各都道府県の割合を標準化した値を説明変数として回帰式を作成する。説明変数毎に標準化を行う理由は、割合のまま説明変数に使用すると、以下に説明するが説明変数を最終的に 3 つに絞るため、説明変数に 0 が多い都道府県はうまく推定できなくなってしまうからである。

さらに、東北電力と東京電力管轄域の都道府県における東日本大震災発生後 1 年間の IIP 前年同月比を表 3.6 に示す。

表 3.6 東京電力・東北電力管轄域の都道府県における
東日本大震災後 1 年間の IIP 前年同月比

都道府県	鉱工業生産指数前年同月比											
	2011年										2012年	
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
宮城県	0.516	0.541	0.683	0.663	0.670	0.718	0.726	0.726	0.747	0.786	0.783	0.845
茨城県	0.675	0.697	0.981	1.098	0.979	1.009	0.989	1.049	1.050	1.067	1.019	0.992
福島県	0.620	0.741	0.845	0.922	0.919	0.911	0.954	0.989	0.924	0.923	0.955	0.950
栃木県	0.703	0.732	0.866	0.942	0.920	0.886	0.848	0.981	0.905	0.863	0.900	0.900
青森県	0.743	0.793	0.807	0.995	0.944	1.002	0.988	1.063	1.074	1.011	0.928	1.045
岩手県	0.675	0.887	0.901	0.931	0.904	0.922	0.863	0.874	0.845	0.862	0.922	0.949
秋田県	0.854	0.949	1.067	1.007	0.941	0.985	1.019	1.037	1.036	0.963	0.951	1.028
山形県	0.891	0.986	1.024	1.011	1.008	1.109	0.946	0.937	0.883	0.891	0.846	0.859
新潟県	1.001	1.000	1.007	1.075	1.055	1.055	1.047	1.050	1.007	1.022	0.935	0.967
群馬県	0.744	0.867	0.890	0.928	0.941	0.933	0.921	0.995	1.005	1.055	1.053	1.068
埼玉県	0.884	0.944	1.022	0.978	0.952	0.960	0.944	0.965	0.911	1.019	0.999	1.052
千葉県	0.901	0.915	0.992	1.012	0.958	0.934	0.899	0.935	0.923	0.834	0.851	0.872
東京都	0.800	0.866	0.940	0.925	0.952	0.956	0.963	0.995	1.006	1.037	1.056	1.059
神奈川県	0.772	0.938	0.974	1.044	0.951	0.925	0.869	0.994	0.959	0.973	0.906	1.007
山梨県	0.958	0.996	1.076	0.981	0.978	0.936	0.967	0.990	0.991	1.009	0.942	0.913

これらを被説明変数とし、表 3.5 における 6 つの標準化した説明変数の中か

²³ 総務省統計局(2011)東日本太平洋岸地域のデータ及び被災関係データ～「社会・人口統計体系(統計でみる都道府県・地区町村)」を参照した。
(<http://www.stat.go.jp/info/shinsai>, 2014年11月27日確認)

ら，説明変数間の多重共線関係が大きくなるように震度範囲に占める製造業従業員数の割合から2つに絞り，それらと津波人口率の3つの組み合わせを説明変数として回帰式を作成する．それらの中で最も決定係数が高い式を，当月～11ヵ月後までのIIP変化率を予測する12の回帰式として決定する²⁴．

以上より，決定した回帰式を表3.7に示す．ここで，9ヵ月後以降のIIP変化率を予測するための回帰式の決定係数が著しく低下するため，8ヵ月後までのIIP変化率を算出することとする．すなわち，推計結果は8ヵ月後までの評価とする．

表 3.7 IIP 変化率を予測するための回帰式

IIP	回帰式	R ²
IIP ₀	-0.042 R ₆₊ + 0.044 R ₄ - 0.052 R _t + 0.782	0.665
IIP ₁	-0.089 R ₆₊ + 0.016 R ₄ - 0.027 R _t + 0.857	0.790
IIP ₂	-0.032 R ₆₊ - 0.024 R ₅₊ - 0.058 R _t + 0.938	0.539
IIP ₃	0.049 R ₆₋ + 0.034 R ₄ - 0.100 R _t + 0.967	0.709
IIP ₄	-0.033 R ₆₊ - 0.023 R ₅₊ - 0.061 R _t + 0.938	0.806
IIP ₅	-0.041 R ₆₊ - 0.026 R ₅₋ - 0.048 R _t + 0.949	0.544
IIP ₆	-0.043 R ₆₊ - 0.043 R ₅₋ - 0.050 R _t + 0.930	0.668
IIP ₇	-0.021 R ₆₊ - 0.045 R ₅₋ - 0.077 R _t + 0.972	0.876
IIP ₈	-0.027 R ₆₊ - 0.041 R ₅₋ - 0.064 R _t + 0.951	0.597
IIP ₉	-0.025 R ₆₊ - 0.027 R ₅₋ - 0.051 R _t + 0.954	<u>0.305</u>
IIP ₁₀	-0.015 R ₆₊ - 0.018 R ₅₋ - 0.036 R _t + 0.936	<u>0.106</u>
IIP ₁₁	-0.036 R ₆₊ - 0.024 R ₅₋ - 0.022 R _t + 0.967	<u>0.133</u>

IIP₀: 発災当月の予測IIP変化率，IIP_n: nヵ月後の予測IIP変化率
R₆₊: 震度6以上に占める製造業従業員数の割合(標準値)，R₆₋: 震度6弱，R₅₊: 震度5強，
R₅₋: 震度5弱，R₄: 震度4以下，R_t: 津波人口率

次に，表 3.7 の回帰式を用いて，南海トラフ巨大地震後の地域別 IIP の変化率を推計する．そのため，南海トラフ巨大地震における被災都道府県に対して，震度範囲に占める製造業従業員率と津波人口率を求めた．震度範囲に占める製造業従業員率は，表 3.5 の算出方法と同様に算出した．ここでの津波人口率に

²⁴ 揺れによる影響と津波による影響から IIP を予測することを踏まえ，揺れの影響を表す東日本大震災の震度範囲に占める製造業従業員の割合は，6 強以上，6 弱，5 強，5 弱，4 以下の合計は 1 となるため全てを用いず，この中から 2 つと，津波の影響を表す津波人口率はいずれにも含めることとした．これらの組み合わせの中で決定係数が最も高い組み合わせを決定した．

については、想定されている津波浸水面積に対して、各都道府県の人口密度を掛けることで津波人口率とした。算出した結果を表 3.8 に示し、これらを震災後の推定 IIP 変化率を算出するための説明変数の材料とする。

表 3.8 南海トラフ巨大地震の被災都道府県における想定震度範囲に占める
製造業従業員率と津波人口率

都道府県	想定震度範囲に占める製造業従業員率					津波人口率
	6強以上	6弱	5強	5弱	4以下	
茨城県	0	0	0	0.349	0.651	0.001
栃木県	0	0	0	0.331	0.669	0
群馬県	0	0	0	0.892	0.108	0
埼玉県	0	0	0.357	0.641	0.002	0
千葉県	0	0	0	0.603	0.397	0.003
東京都	0	0	0.444	0.555	0.000	0.000
神奈川県	0	0.044	0.484	0.472	0	0.003
新潟県	0	0	0	0.107	0.893	0
富山県	0	0	0	0.869	0.131	0
石川県	0	0	0.086	0.755	0.159	0
福井県	0	0	0.978	0.022	0	0
山梨県	0.416	0.385	0.160	0.039	0	0
長野県	0.058	0.290	0.534	0.107	0.0105	0
岐阜県	0.143	0.350	0.461	0.045	0	0
静岡県	0.711	0.237	0.052	0	0	0.004
愛知県	0.925	0.060	0.015	0	0	0.009
三重県	0.885	0.115	0	0	0	0.011
滋賀県	0.526	0.474	0	0	0	0
京都府	0.481	0.355	0.164	0	0	0
大阪府	0.424	0.574	0.001	0	0	0.016
兵庫県	0.400	0.443	0.155	0.002	0	0.002
奈良県	0.829	0.171	0	0	0	0
和歌山県	0.996	0.004	0	0	0	0.022
鳥取県	0	0	0.834	0.166	0	0
島根県	0	0	0.629	0.310	0.061	0
岡山県	0.612	0.212	0.171	0.006	0	0.002
広島県	0.333	0.541	0.126	0	0	0.001
山口県	0.077	0.118	0.491	0.314	0	0.002
徳島県	1.000	0	0	0	0	0.028
香川県	0.939	0.061	0	0	0	0.014
愛媛県	1.000	0	0	0	0	0.005
高知県	1.000	0.000	0	0	0	0.016
福岡県	0	0	0.128	0.776	0.096	0.000
佐賀県	0	0	0.010	0.853	0.137	0
長崎県	0	0	0.238	0.361	0.402	0.004
熊本県	0	0.051	0.390	0.059	0	0.000
大分県	0.064	0.614	0.322	0	0	0.007
宮崎県	0.723	0.270	0.007	0	0	0.012
鹿児島県	0	0.276	0.616	0.103	0.005	0.005

ここで、東日本大震災における震度範囲に占める製造業従業員率と津波人口率と南海トラフ巨大地震におけるそれぞれの値を相対的な数値で表すために、表 3.8 に示すデータと表 3.5 に示すデータを含めて説明変数毎に標準化を行った。それら標準化された値を説明変数として、作成した回帰式に当てはめ、南海トラフ巨大地震後の各都道府県の当月～8ヶ月後における IIP 変化率を求めた。その推定 IIP 変化率を表 3.9 に示す。

表 3.9 南海トラフ巨大地震の被災都道府県における推定 IIP 変化率

都道府県	南海トラフ地震におけるの推定IIP変化率								
	当月	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後
茨城県	0.925	0.965	1.004	1.039	0.973	0.985	0.960	0.995	0.976
栃木県	0.930	0.967	1.006	1.045	0.977	0.988	0.964	1.001	0.981
群馬県	0.827	0.929	1.006	0.965	0.931	0.936	0.877	0.910	0.898
埼玉県	0.808	0.922	0.970	0.950	0.951	0.960	0.916	0.951	0.935
千葉県	0.873	0.945	0.998	0.992	0.946	0.956	0.915	0.946	0.932
東京都	0.806	0.922	0.961	0.948	0.957	0.967	0.929	0.963	0.947
神奈川県	0.800	0.918	0.950	0.948	0.957	0.969	0.936	0.968	0.952
新潟県	0.971	0.983	1.006	1.076	0.995	1.009	0.999	1.037	1.014
富山県	0.831	0.931	1.006	0.968	0.933	0.938	0.881	0.914	0.902
石川県	0.836	0.933	0.997	0.972	0.942	0.949	0.899	0.933	0.918
福井県	0.807	0.922	0.909	0.950	1.002	1.017	1.013	1.051	1.026
山梨県	0.758	0.817	0.952	1.049	0.962	0.967	0.959	1.023	0.991
長野県	0.802	0.908	0.948	1.026	0.990	1.002	0.992	1.033	1.009
岐阜県	0.790	0.886	0.947	1.040	0.987	0.998	0.991	1.038	1.012
静岡県	0.714	0.737	0.926	0.994	0.928	0.927	0.920	0.999	0.963
愛知県	0.676	0.676	0.895	0.923	0.892	0.890	0.881	0.966	0.930
三重県	0.677	0.684	0.897	0.931	0.892	0.892	0.883	0.964	0.930
滋賀県	0.745	0.789	0.958	1.071	0.955	0.957	0.951	1.023	0.989
京都府	0.750	0.800	0.946	1.041	0.959	0.963	0.957	1.025	0.992
大阪府	0.720	0.795	0.926	1.026	0.921	0.935	0.929	0.974	0.951
兵庫県	0.755	0.818	0.948	1.053	0.961	0.967	0.961	1.022	0.992
奈良県	0.709	0.712	0.930	0.994	0.927	0.922	0.914	1.005	0.965
和歌山県	0.637	0.642	0.857	0.851	0.850	0.854	0.844	0.918	0.888
鳥取県	0.807	0.922	0.923	0.950	0.990	1.004	0.990	1.027	1.005
島根県	0.818	0.926	0.944	0.958	0.979	0.990	0.968	1.004	0.984
岡山県	0.731	0.765	0.929	0.997	0.943	0.943	0.936	1.011	0.977
広島県	0.765	0.836	0.960	1.084	0.970	0.978	0.972	1.030	1.000
山口県	0.793	0.900	0.944	0.970	0.965	0.976	0.953	0.991	0.971
徳島県	0.623	0.634	0.841	0.824	0.834	0.841	0.830	0.897	0.871
香川県	0.664	0.667	0.884	0.904	0.879	0.879	0.870	0.951	0.917
愛媛県	0.677	0.662	0.901	0.926	0.897	0.891	0.881	0.976	0.937
高知県	0.652	0.649	0.873	0.879	0.868	0.868	0.858	0.940	0.906
福岡県	0.824	0.928	0.992	0.961	0.939	0.946	0.894	0.928	0.914
佐賀県	0.832	0.931	1.005	0.969	0.934	0.940	0.883	0.917	0.904
長崎県	0.872	0.945	0.973	0.990	0.964	0.977	0.951	0.983	0.966
熊本県	0.806	0.922	0.966	0.961	0.998	1.013	1.006	1.043	1.020
大分県	0.784	0.898	0.951	1.077	0.980	0.997	0.993	1.027	1.005
宮崎県	0.693	0.723	0.907	0.964	0.903	0.908	0.900	0.968	0.938
鹿児島県	0.796	0.916	0.932	0.999	0.982	0.999	0.989	1.020	1.000

3.4.3 月間平均気温の設定

月間平均気温のデータについては、東日本大震災が発生する前年である 2010

年度の都道府県別の平均気温データ²⁵を用いる。2010年度の月間平均気温と表3.9の予測IIP変化率を[2]式に当てはめ、都道府県別の電力需要変化率を算出する。

3.4.4 電力需要変化率

都道府県別の電力需要変化率を電力会社管轄域別の電力需要変化率にまとめるために、都道府県別の電力消費量のデータを用いて、各電力会社管轄域に占める各都道府県の電力消費量の割合を算出した²⁶。都道府県別の電力需要変化率を電力会社管轄域毎にその割合で按分した。以上の推計方法に従い、求めた電力需要変化率を表3.10に示す。

表 3.10 電力会社管轄域別の南海トラフ巨大地震後の電力需要変化率

電力会社	電力需要変化率								
	当月	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後
東京電力	0.828	0.897	0.909	0.889	0.857	0.859	0.845	0.899	0.908
中部電力	0.719	0.728	0.857	0.879	0.827	0.822	0.828	0.918	0.917
北陸電力	0.827	0.900	0.917	0.885	0.858	0.855	0.840	0.896	0.910
関西電力	0.736	0.771	0.874	0.936	0.841	0.837	0.847	0.924	0.926
中国電力	0.771	0.822	0.883	0.920	0.863	0.859	0.865	0.939	0.944
四国電力	0.670	0.653	0.826	0.819	0.788	0.777	0.782	0.880	0.878
九州電力	0.791	0.865	0.898	0.898	0.857	0.857	0.846	0.902	0.914

電力需要が直後に最も落ち込むのは四国電力であり、次に中部電力と続く。やはり、発電所の被害が大きい地域においては、需要の減少量も大きいということが予想される。

災害後の電力会社管轄域別の需要量を決定するために、各電力会社における2006年から2010年度の各月の月間最大電力需給実績の平均を災害前の想定需要量とし、表3.10に対応する月の電力需要変化率を掛けたものを災害後の電力

²⁵ 気象庁のWebサイトで公表されている過去の気象データ検索から2010年度における各都道府県の平均気温を参照した。

(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2014年11月27日確認)

²⁶ 独立行政法人経済産業研究所で公表されている都道府県別エネルギー消費統計から、各都道府県における電力使用量を参照した。

(<http://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/energy/index.html>, 2014年11月27日確認)

需要量とする。

3.5 地域間電力融通の設定

3.5.1 地域別電力需給ギャップ

推計した電力供給可能量と電力需要量を用いて、各電力会社別の電力需給ギャップを算出する。ケースとしては、原子力発電所が未稼働における電力供給制約が厳しいシナリオと緩いシナリオ、そして、原子力発電所が50%稼働における電力供給制約が厳しいシナリオの3つをそれぞれ、表3.11、表3.12、表3.13、に示す。

表 3.11 南海トラフ巨大地震における電力会社管轄域別の電力需給ギャップ
(原子力発電所未稼働，電力供給制約が厳しいシナリオ)

地震発生からの期間		東京電力		中部電力		北陸電力		関西電力	
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合
7月	直後	-2013	0.577	-1412	0.249	-103	0.761	-1408	0.346
	1日後	-752	0.842	-1345	0.285	-88	0.796	-1408	0.346
	2日後	1399	1.294	-1345	0.285	161	1.372	-1160	0.461
8月	1ヶ月後	923	1.176	-1423	0.273	98	1.198	-742	0.681
	1ヶ月半後	923	1.176	-835	0.574	98	1.198	-267	0.885
9月	2ヶ月後	1282	1.263	414	1.190	120	1.255	-372	0.849
10月	3ヶ月後	2316	1.603	779	1.429	218	1.582	15	1.007
11月	4ヶ月後	2134	1.531	869	1.504	200	1.509	204	1.108
12月	5ヶ月後	1913	1.451	756	1.411	179	1.431	49	1.024
1月	6ヶ月後	1781	1.407	651	1.336	166	1.387	138	1.064
2月	7ヶ月後	1576	1.344	488	1.232	145	1.323	-25	0.989
3月	8ヶ月後	1717	1.387	575	1.285	152	1.345	78	1.035
地震発生からの期間		中国電力		四国電力		九州電力			
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合		
7月	直後	-598	0.305	-266	0.286	-672	0.492		
	1日後	-505	0.413	-266	0.286	-353	0.733		
	2日後	-281	0.674	-266	0.286	201	1.152		
8月	1ヶ月後	-227	0.765	-274	0.280	327	1.217		
	1ヶ月半後	316	1.326	-134	0.649	327	1.217		
9月	2ヶ月後	330	1.346	50	1.113	407	1.285		
10月	3ヶ月後	476	1.590	141	1.403	681	1.591		
11月	4ヶ月後	485	1.607	146	1.425	726	1.657		
12月	5ヶ月後	438	1.518	118	1.318	618	1.509		
1月	6ヶ月後	382	1.424	98	1.250	585	1.469		
2月	7ヶ月後	330	1.345	61	1.142	544	1.422		
3月	8ヶ月後	354	1.380	83	1.204	593	1.479		

表 3.12 南海トラフ巨大地震における電力会社管轄域別の電力需給ギャップ
 (原子力発電所未稼働，電力供給制約が緩いシナリオ)

地震発生からの期間		東京電力		中部電力		北陸電力		関西電力	
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合						
4月	直後	-990	0.730	-901	0.373	-16	0.955	-835	0.471
	1日後	-73	0.980	-901	0.373	0	0.999	-835	0.471
	2日後	2490	1.679	-852	0.407	256	1.722	-478	0.697
5月	1ヶ月後	2324	1.607	-880	0.399	251	1.696	302	1.184
	1ヶ月半後	2324	1.607	779	1.532	251	1.696	449	1.273
6月	2ヶ月後	1699	1.381	654	1.329	190	1.452	-152	0.932
7月	3ヶ月後	1048	1.205	342	1.149	149	1.322	-647	0.764
8月	4ヶ月後	1154	1.231	416	1.187	139	1.295	-448	0.824
9月	5ヶ月後	1551	1.337	553	1.265	171	1.388	-268	0.886
10月	6ヶ月後	2504	1.686	933	1.546	256	1.718	417	1.222
11月	7ヶ月後	1934	1.458	728	1.381	201	1.491	221	1.107
12月	8ヶ月後	1670	1.372	591	1.288	171	1.387	36	1.016
地震発生からの期間		中国電力		四国電力		九州電力			
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合		
4月	直後	-337	0.488	-170	0.384	-288	0.693		
	1日後	-244	0.629	-170	0.384	31	1.033		
	2日後	-78	0.881	-170	0.384	585	1.623		
5月	1ヶ月後	61	1.090	-13	0.950	807	1.788		
	1ヶ月半後	604	1.889	27	1.102	807	1.788		
6月	2ヶ月後	440	1.522	86	1.214	560	1.440		
7月	3ヶ月後	256	1.249	35	1.078	331	1.220		
8月	4ヶ月後	266	1.262	31	1.067	341	1.228		
9月	5ヶ月後	356	1.383	76	1.184	471	1.346		
10月	6ヶ月後	525	1.692	156	1.468	747	1.688		
11月	7ヶ月後	415	1.478	106	1.275	667	1.573		
12月	8ヶ月後	354	1.381	70	1.167	538	1.416		

表 3.13 南海トラフ巨大地震における電力会社管轄域別の電力需給ギャップ
 (原子力発電所 50%稼働, 電力供給制約が厳しいシナリオ)

地震発生からの期間		東京電力		中部電力		北陸電力		関西電力	
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合						
7月	直後	-1561.8	0.672	-1411.5	0.249	-18.6	0.957	-860.5	0.600
	1日後	-300.4	0.937	-1345.1	0.285	-3.6	0.992	-860.5	0.600
	2日後	1850.4	1.389	-1345.1	0.285	245.5	1.568	-613.1	0.715
8月	1ヶ月後	1374.3	1.263	-1423.1	0.273	182.9	1.369	-194.7	0.916
	1ヶ月半後	1374.3	1.263	-835.0	0.574	182.9	1.369	280.4	1.120
9月	2ヶ月後	1733.5	1.356	414.3	1.190	205.1	1.434	175.6	1.071
10月	3ヶ月後	2767.2	1.721	778.8	1.429	302.8	1.807	561.9	1.271
11月	4ヶ月後	2585.2	1.643	868.7	1.504	284.9	1.725	750.9	1.398
12月	5ヶ月後	2364.7	1.557	755.7	1.411	263.3	1.635	596.5	1.292
1月	6ヶ月後	2232.5	1.510	651.5	1.336	250.3	1.585	481.3	1.223
2月	7ヶ月後	2027.4	1.443	487.7	1.232	229.6	1.512	318.9	1.138
3月	8ヶ月後	1717.0	1.387	574.7	1.285	152.2	1.345	625.3	1.282
地震発生からの期間		中国電力		四国電力		九州電力			
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合		
7月	直後	-536.1	0.377	-265.7	0.286	-417.3	0.684		
	1日後	-443.3	0.485	-265.7	0.286	-98.2	0.926		
	2日後	-218.5	0.746	-265.7	0.286	455.7	1.345		
8月	1ヶ月後	-165.4	0.829	-273.8	0.280	582.1	1.387		
	1ヶ月半後	377.6	1.390	-133.5	0.649	582.1	1.387		
9月	2ヶ月後	392.3	1.411	49.8	1.113	661.6	1.464		
10月	3ヶ月後	538.5	1.667	140.5	1.403	935.5	1.812		
11月	4ヶ月後	546.9	1.684	146.0	1.425	981.2	1.887		
12月	5ヶ月後	500.5	1.592	118.1	1.318	873.0	1.719		
1月	6ヶ月後	444.1	1.492	97.9	1.250	839.8	1.673		
2月	7ヶ月後	391.6	1.410	61.0	1.142	799.0	1.620		
3月	8ヶ月後	415.9	1.447	83.1	1.204	848.2	1.685		

原子力発電所が未稼働でかつ電力供給制約が厳しいシナリオにおいては、中部と四国が1ヶ月経過しても約3割という激しい電力需給ギャップが生じているということが分かる。また、関西電力においても約7割程度の電力需給ギャップが生じている。一方電力供給制約が緩いシナリオにおいては、中部では、1ヶ月経過しても約4割という激しい電力需給ギャップが生じているものの、四国においては、2ヶ月後には約9割にまで回復するという点で異なる。その他の電力会社については、あまり大きな影響はない。

原子力発電所が50%稼働していた場合であるが、中部と四国以外の電力会社の管轄域では電力需給ギャップの解消が進むが、中部と四国では原子力発電所

が未稼働の場合と変わらない。これは、中部と四国の原子力発電所は、震災によって稼働停止する震度 6 弱以上の被害を受ける可能性が高いため、供給力として計上されなかったことが理由である。ただし、他の電力会社の供給力が向上することによって、電力融通の面では向上が期待できる。

以上の地域別電力需給ギャップの前提において、電力供給量が余っている電力会社から電力不足地域に対して電力融通を実施した場合にどの程度需給ギャップが解消されるか検証する。

3.5.2 配分の考え方

電力会社間の電力融通量については、各地域間連系線の運用容量を限界として、電力供給可能量が災害後の電力需要量に対して余裕がある電力会社は、その余裕分の電力量を電力供給制約が生じている電力会社に融通を行うこととする。運用容量とは、当該地域間連系設備において安定的に送電できる上限であるとされているが、それが実際的な融通可能な上限ではない。過去の需給逼迫時には、短期的にはその上限を超えて送電されることはあった²⁷。しかしながら、本推計結果は数ヶ月間という比較的長い期間の時間軸を設定しているため、安定的に送電できる上限である運用容量を限界として設定することとする。2014 年度における地域間連系線の運用容量³⁰)を図 3.7 に示す。

電力供給制約が生じている地域への配分の規則としては、地域間の電力需給の逼迫状態を公平に保つ観点から、需給ギャップの割合を地域間で均等にすることを念頭においた配分方法を設定する。均等配分規則のイメージを図 3.8 に示す。具体的には、電力融通可能量を上限として、電力需給ギャップが生じている地域すべてに配分できない場合、図 3.8 のように B と C の地域のように需給ギャップの割合が小さい地域を均等の割合 X になるように配分する。この時、割合 X が A と D の割合よりも小さい場合には、A と D には配分されないこととする。もし、C 地域において、割合 X となる電力量の分を地域間連系線の運用容量の制約によって送電できない場合には、C には運用容量分だけを融通し、

²⁷ 例えば、2012 年の九州電力における新大分発電所の燃料供給設備の不具合により全号が停止した際、中国九州間の関門連系線における九州地方向けの運用容量は 30 万 kW であったが、これを大きく超えて送電が行われた。

余剰分については B に配分する．ここで，その余剰分を B へ配分する際，次に電力需給ギャップの割合が小さい A の割合を超えた場合には，A と B で均等になるように配分する．以上のようなルールの下で地域間電力融通を設定する．また，地域間電力融通は直後には実施されず，1 日後から開始されることとした．

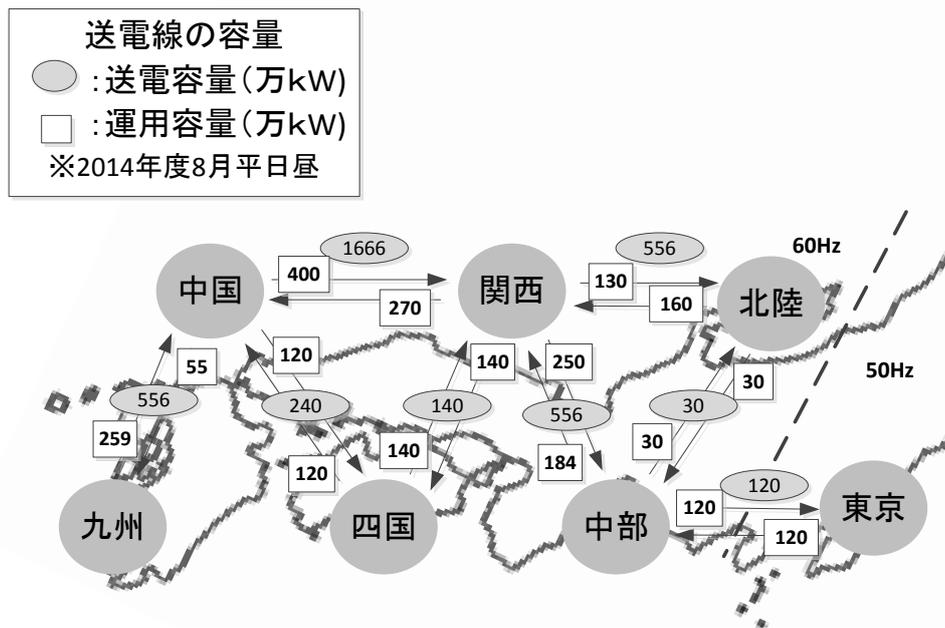


図 3.7 地域間連系線の運用容量

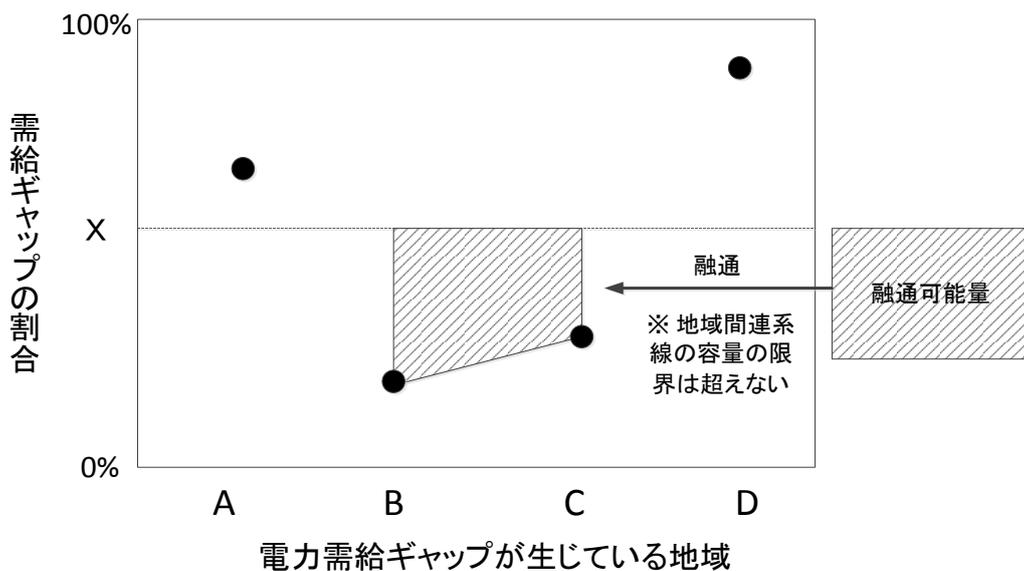


図 3.8 均等配分規則のイメージ

3.6 結果の考察

地域間電力融通を実施した上で、原子力発電所が未稼働でかつ電力供給制約が厳しいシナリオである電力会社管轄域別の電力需給ギャップの結果を表 3.14 に示す。

表 3.14 電力融通を踏まえた電力需給ギャップ
(原子力発電所未稼働，電力供給制約が厳しいシナリオ)

地震発生からの期間		東京電力		中部電力		北陸電力		関西電力	
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合						
7月	直後	-2013.4	0.577	-1411.5	0.249	-103.3	0.761	-1407.8	0.346
	1日後	-257.0	0.946	-1345.1	0.285	-88.3	0.796	-1407.8	0.346
	2日後			-1139.5	0.394			-925.2	0.570
8月	1ヶ月後			-1023.1	0.478			-742.0	0.681
	1ヶ月半後			-435.0	0.778				
9月	2ヶ月後								
地震発生からの期間		中国電力		四国電力		九州電力			
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合		
7月	直後	-598.2	0.305	-265.7	0.286	-672.3	0.492		
	1日後	-505.3	0.413	-265.7	0.286	-353.2	0.733		
	2日後	-280.5	0.674	-225.0	0.395				
8月	1ヶ月後	-227.4	0.765	-128.5	0.662				
	1ヶ月半後								
9月	2ヶ月後								

直後や1日後については、いずれの地域においても需給ギャップがマイナスとなっているが、震度5弱や震度5強の被害を受ける発電所は稼働停止しない場合も多いことから、実際に表記されている需給ギャップ量が生じるというわけではない。そのため、ここで着目すべきは1ヶ月以上電力需給ギャップが生じる中部、関西、中国、四国の4つの地域である。関西、中国、四国においては、1ヶ月半後には需給ギャップが解消されるが、中部においては、1か月半後においても435万kWの需給ギャップが生じている。ここで、均等に配分しているにもかかわらず、中部のみ需給ギャップの解消が遅れてしまう理由は、地域間電力融通の運用容量にある。中部へ電力融通が可能となる運用容量は、東京から中部への120万kW、北陸から中部への30万kW、関西から中部への250

万 kW の合計 400 万 kW である。1 ヶ月後の段階で、電力融通前は中部と四国は需給ギャップの割合はほとんど同じであるが、この地域間連系線の運用容量の限界により、中部においては約 48% までしか回復できず、四国においては、約 66% まで回復できる。中部においても、電力融通によって 2 ヶ月後には電力需給ギャップがマイナスになる事態は解消される。そのため、いずれの地域においても計画停電を実行しなくてもよくなるには、2 ヶ月間を要する可能性がある。

次に、原子力発電所が未稼働でかつ電力供給制約が緩いシナリオについての結果を表 3.15 に示す。

表 3.15 電力融通を踏まえた電力需給ギャップ
(原子力発電所未稼働、電力供給制約が緩いシナリオ)

地震発生からの期間		東京電力		中部電力		北陸電力		関西電力	
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合						
4月	直後	-990.3	0.730	-901	0.373	-16.0	0.955	-834.7	0.471
	1日後			-776	0.460	-0.4	0.999	-833.8	0.472
	2日後			-452	0.685			-402.7	0.745
5月	1ヶ月後			-480	0.672				
	1ヶ月半後								
6月	2ヶ月後								
地震発生からの期間		中国電力		四国電力		九州電力			
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合		
4月	直後	-336.8	0.488	-170.3	0.384	-672.3	0.492		
	1日後	-243.9	0.629	-146.1	0.472	-353.2	0.733		
	2日後	-78.1	0.881	-76.8	0.722				
5月	1ヶ月後								
	1ヶ月半後								
6月	2ヶ月後								

電力供給制約が緩いシナリオでは、中部を除いたすべての地域において、1 ヶ月後には電力需給ギャップは解消される見込みである。緩いシナリオにおいても、地域間連系線の運用容量がボトルネックとなって、中部での電力供給制約の解消は、1 ヶ月を超えてしまう可能性があることが分かる。

最後に、原子力発電所が 50% 稼働でかつ電力供給制約が厳しいシナリオについての結果を表 3.16 に示す。

表 3.16 電力融通を踏まえた電力需給ギャップ
(原子力発電所 50%稼働, 電力供給制約が厳しいシナリオ)

地震発生からの期間		東京電力		中部電力		北陸電力		関西電力	
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合						
7月	直後	-1561.8	0.672	-1411.5	0.249	-18.6	0.957	-860.5	0.600
	1日後			-1245.0	0.338	-3.6	0.992	-860.5	0.600
	2日後			-945.1	0.497			-390.1	0.819
8月	1ヶ月後			-1023.1	0.478			-194.7	0.916
	1ヶ月半後			-435.0	0.778				
9月	2ヶ月後								
地震発生からの期間		中国電力		四国電力		九州電力			
		需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合	需給ギャップ量 (万kW)	需給ギャップの割合		
7月	直後	-536.1	0.377	-265.7	0.286	-417.3	0.684		
	1日後	-443.3	0.485	-245.9	0.339	-98.2	0.926		
	2日後	-218.5	0.746	-67.4	0.819				
8月	1ヶ月後	-165.4	0.829	-111.9	0.706				
	1ヶ月半後								
9月	2ヶ月後								

原子力発電所が 50%稼働するケースにおいても、中部、関西、中国、四国においては 1ヶ月以上の電力需給ギャップが続くこととなる。ただし、関西、中国、四国においては、1ヶ月後の電力需給ギャップの割合は少なからず解消されることとなる。しかしながら、中部においては、やはり地域間連系線の運用容量の制約により、原子力発電所の稼働の有無によって変化はないということが分かる。

ここまで、中部地域に向けた地域間連系線における課題を指摘してきたが、そもそも中部での供給力低下が著しいことが問題の根本であることについても対策を検討する上で議論をする必要がある。中部電力管内の供給力の約 4分の3が、南海トラフ巨大地震によって甚大な被害を受ける可能性のある伊勢湾に集中している。これは、経済性のみからみれば合理的であるが、このような巨大災害のリスクを考慮すると必ずしも良い状態であるとはいえないだろう。そのため、特に中部地域における発電所の立地や地域間連系線の容量については、今後議論を深めていく必要があるといえる。また、電力供給制約が厳しいシナリオにおいては、1ヶ月以上も 4つの地域で計画停電が続く可能性があること

についても議論の余地のある問題であるという。

また、本推計では稼働停止した発電所以外の発電所をフル稼働するという前提となっていることから、実際にはさまざまな要因によって発電所をフル稼働できない可能性があることには留意する必要がある。実際、東日本大震災が発生してから電力が不足していた夏にかけても、火力発電所はトラブルや事故により稼働停止している。その要因は、燃料系統の不具合、燃焼ガスや蒸気の漏えい等である。震災で被害を受け、その後復旧を果たした火力発電所等でも起こっている²⁸。そのため、本推計で行ったよりも実際には、電力需給ギャップが大きくなる可能性もある。さらには、内閣府でも指摘しているように、東日本大震災の復旧実績より様々な要因によって復旧が遅れる可能性もある。以上を踏まえると、このように複数の地域で計画停電や電力不足が長期間生じることについての社会経済的な影響を精査していく必要があるといえる。長期間計画停電が続き、社会的な節電要請の程度が大きくなれば、当然ながら経済活動に対して大きな支障をきたすだろう。以上、電力需給ギャップの推計から、電力供給制約のリスク軽減に効果的な対策を検討し、実行に移していく必要があるといえる。

3.7 まとめ

本章では、南海トラフ巨大地震後の電力供給制約を推計するための手法を提示した。本手法では、南海トラフ巨大地震後の中長期的な電力需給ギャップを推計することが可能となり、被害を受ける可能性のある7電力会社管轄域で時期別にどの程度の電力需給ギャップが生じるかを把握することができる。これによって、今後の南海トラフ巨大地震において生じる可能性のある電力不足リスクを軽減するため対策を検討する上での一助になると考えられる。本章においては、推計結果を踏まえた考察により、以下の課題が抽出された。

²⁸ 例えば、東京電力のプレスリリースによると、鹿島火力発電所4号機は、2011年7月27日にボイラー設備からの燃焼ガスの漏えいが発生したため、補修が完了する8月6日までの約1週間運転を停止した。
(<http://www.tepco.co.jp/cc/press/11072703-j.html>, 2014年11月27日確認)

第1に、地域間連系線の容量がボトルネックとなり中部地域においては電力需給ギャップの解消が遅れる可能性があることである。日本の電力システムは基本的に、地域で消費する電力はその地域で確保することを前提としている。そのため、地域間の電力融通が普段から広く活用されることも少ないことから、地域間連系線の容量は最低限のものに抑えられている。さらに、東西の周波数が異なることから、東西間において大容量の電力を融通することが難しいという構造的な問題を抱えているといえる。今後は、このような日本の電力システム的前提を踏まえつつも巨大災害時における電力供給制約のリスク軽減を考慮した体制を構築することが必要となるといえる。

第2に、複数の電力会社の管轄域で計画停電を実施しなければならない可能性があることである。複数の地域で長期的に電力不足に陥ると、平常時の経済活動や被災地の復旧・復興の遅れにつながりかねない。事前の対策が十分に機能しなかった場合において、事後の対応によっても社会経済的被害を軽減するための対応を準備しておくことも有用な対策であるといえる。

また、本推計で用いた手法においては、詳細な部分の改良すべき課題が多く残る。そこで、電力供給可能量と電力需要量の推計手法についての課題をまとめる。

まず、電力供給可能量の推計手法についての課題を述べる。発電所の復旧期間の設定については、東日本大震災の実績を前提にしていることから、南海トラフ巨大地震特有の考慮事項といったことを含まれていない。また、発電所の復旧期間をおおまかに平均値や予測による暫定値として1つに固定してしまっていることにより、細かい時間フェーズ毎における詳細な課題を抽出することができなかった。そして、個々の発電所に関する詳細なデータは入手することができず、ある程度妥当であると予想される仮定に基づいて推計を行っている。

次に、電力需要の推計手法における課題について述べる。本手法の電力需要変化モデルには、鉱工業生産指数のみ考慮されているため、家庭や非製造業といったその他の需要家の需要減少が正確に考慮されていないため、偏った結果になっている可能性が残る。また、IIPの予測段階において、説明変数の設定の問題で、正確な電力需要の変化を推計することができていない可能性がある。

被害が小さい東京電力や北陸電力の電力需要変化率が、時間が経過する中で、被害の大きかった電力会社よりも需要の回復が遅いといった結果が含まれている。そのため、説明変数としてより妥当な変数を設定する必要があるといえる。その他、IIP の変化率を電力需要減少率と同等と仮定しているが、サプライチェーンの途絶による IIP の低下は考慮できていない。そのため、南海トラフ巨大地震後のサプライチェーンの途絶は東日本大震災後よりも大きくなることが予想されるため、本推計によって算出された需要減少率は楽観的な結果となっている可能性がある。

本章では、推計に用いた前提条件がほとんど東日本大震災と同程度であると仮定した簡易的な手法から推計した結果ではあるものの、今後南海トラフ巨大地震による電力供給制約のリスクを軽減するための対策の方向性を検討する上では、ある程度有用な示唆が得られたと考えられる。

参考文献

- 22) 南海トラフの巨大地震モデル検討会（2011）南海トラフの巨大地震モデル検討会中間とりまとめ。
（http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/chukan_matome.pdf， 2014年11月27日確認）
- 23) 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（2012）南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）
（http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taistai_nankaitrough/pdf/20120829_higai.pdf， 2014年11月27日確認）
- 24) 中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（2013）南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）～施設等の被害～【被害の様相】，資料2-1。
（http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_shiryo2_1.pdf， 2014年11月27日確認）
- 25) 目黒公朗・副島紀代・山崎文雄・片山恒雄（1995）電力需要特性から見た都市の地域分類，土木学会論文集，No.507，I-30，pp.255-263.
- 26) 秦康範・目黒公郎（2002）電力供給量の変化に着目した建物被害評価に関する基礎研究，土木学会論文集，No.695，I-58，pp.185-195.
- 27) 秦康範・目黒公郎（2002）地震直後からの被害把握を目的とした電力需要のミクロ評価の試み，地域安全学会論文集，No.507，I-30，pp.255-263.
- 28) 飯田亮一・秦康範・目黒公郎（2006）被災度に応じた地震後の地域別電力需要予測モデルの構築，生産研究，Vol.58，No.3，pp.125-128.
- 29) 火力原子力発電技術協会（2012）東北地方太平洋沖地震火力発電所の被害と復旧調査報告書.
- 30) 電力系統利用協議会（2014）各地域間連系線設備の運用容量算定結果－平成26年度－.

第4章 対策の検討と有効性評価の視点

4.1 電力設備の災害対策の考え方

今日に至るまで、日本の電力システムは、雷、風水害、地震といった多様な種類の災害に見舞われてきた。電力設備の自然災害対策は、個々の設備のハード対策、被害の発生を前提とした復旧対応、システムとしての供給機能維持対策の3つから構成され、大規模な災害が発生するたびに、その対策の見直しや改善がなされてきた³¹⁾。その中で、地震や津波対策について焦点を当てて、これまでの災害対策の考え方を整理する。

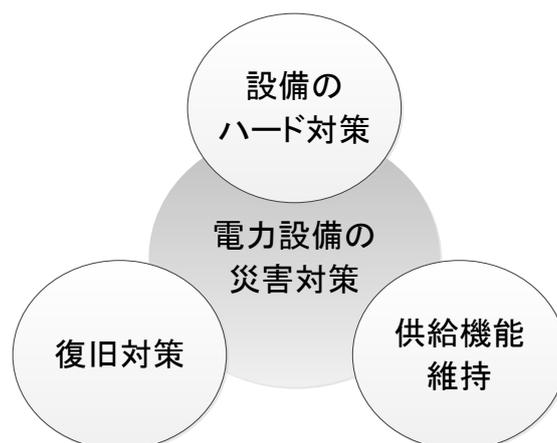


図 4.1 電力設備の自然災害対策の構成

資料：朱牟田（2013）³¹⁾を基に筆者作成

近代の電力システムが形成されてから、発電設備に大きな地震被害を受けたのは1964年の新潟地震が初めてであった。この地震を契機として、火力発電設備等の耐震設計の重要性が改めて認識されることとなり、発電設備の危機、配管系、圧力容器や貯槽類、変電機器、発電用ボイラー等の耐震設計基準、指針等の策定が学会や技術協会のもとで進められた³²⁾。そして、現行の電力設備の地震対策は、1995年に発生した兵庫県南部地震による経験に基づいており、同年7月に国の中央防災会議で決定された防災基本計画において、その耐震性能

の基本的考え方が定められている³³⁾。その基本的考え方を表 4.1 にまとめる。

表 4.1 耐震性能の基本的考え方

	レベル1地震動	レベル2地震動
耐震性区分Ⅰ (機能損失した場合に人命に重大な影響を与える可能性のある設備)	個々の設備毎に機能に重大な支障を生じないこと	人命に重大な影響を与えないこと
耐震性区分Ⅱ (耐震性区分Ⅰ以外の設備)	個々の設備毎に機能に重大な支障を生じないこと	著しい(長期的かつ広範囲)供給支障が生じないよう、代替性の確保、多重化などにより総合的にシステムの機能が確保されること

資料：資源エネルギー庁（1996）³³⁾ を基に筆者作成

まず、地震時にその保有すべき性能を規定するために、レベル1地震動とレベル2地震動に分類して設定されている。レベル1地震動とは、対象となる設備・構造物等の供用期間中に1～2回程度発生する確率を持つ地震による地震動であり、レベル2地震動とは、発生確率は低い直下型地震又は海溝型地震に起因するさらに高レベルな地震動のことである。また、設備の重要度に応じて、耐震性区分Ⅰと耐震性区分Ⅱに分類されている。耐震性区分ⅠとⅡの違いは、機能損失した場合に人命に重大な影響を与えるか否かである。耐震性区分Ⅰに区分される電力設備はLNGタンクや油タンク等である。発電所の機能を維持するための重要設備であるタービンやボイラー等、その他すべての設備は耐震性区分Ⅱに分類される。

その後、2011年の東日本大震災による津波被害を踏まえて、津波対策の基本的な考え方が報告されている³⁴⁾。その考え方は、中央防災会議（2011）による今後の津波対策を構築するに当たっての対策の方針で出された、最大クラスの津波と頻度の高い津波の2種類の津波に対する想定の使用方³⁵⁾を基にしている。津波対策の考え方については、地震対策におけるレベル1地震動が頻度の高い津波、レベル2地震動が最大クラスの津波に対応し、保有すべき性能としての

考え方はほとんど同様である。

ここで、南海トラフ巨大地震における電力供給制約対策における考え方を確認しておく。南海トラフ巨大地震はレベル2の地震動でかつ最大クラスの津波に該当し、著しい供給支障が生じないように、代替性を確保し、多重化することによって総合的にシステムの機能が確保されるように対策を実施することが要求されている。

また、被害の発生を前提とした復旧対応対策においては、これまで大規模な災害を経験してきたことから、ある程度想定外の事象においても柔軟に対応できるような復旧対応ができるような対策が重要視されてきている。電力会社においても事業継続計画（BCP）の策定の動きが見られ、発災後の被害状況に応じて、資材や人員の適正配分を行い、各部門の重要業務を継続するための体制の構築に努めている。

そして、システム全体としての供給機能維持対策も重要である。電力流通設備はネットワークを構成していることから、システム全体の供給信頼度が評価されている。電力流通システムの供給信頼度は、基本的にN-1基準と呼ばれる送電線1回線故障のような単一事故を想定して評価されている。しかしながら、東日本大震災以降は、最大サイトの脱落をも想定したシステム構築の必要性が高まっており、低頻度巨大災害を想定した供給信頼度の評価のあり方が問われている。

以上より、電力設備の自然災害対策の基本的考え方について、大規模なハザードを想定した場合には、代替性の確保という対策を充実させるという考え方が重要であることが確認できる。

4.2 対策の検討

4.2.1 東西連系線増強計画

本研究では、個々の設備対策が十分に機能しなかった場合においても、代替策によって電力供給量を確保するために、地域間電力融通を効果的に実施するための対策を検討する。そのため、まず政府で現在検討されている東西連系線

の増強対策について概説する。

経済産業省は、地域間連系線等の強化に関するマスタープラン研究会を設置し、ここで東西の周波数変換能力を2020年までに210万kW、それ以降政策的に必要と判断した場合に300万kWまで増強するという対策案が検討された³⁶⁾。この数値の決定においては、供給信頼度の評価として、従来用いられてきたN-1基準ではなく、大規模電源停止リスクの考慮を加えて検討された。その他、将来の電力取引の活性化や再生可能エネルギー導入促進等、平常時のメリットの観点を踏まえて、地域間連系線等の強化について特に優先的に実行すべき対策を検討されている。

ただし、大規模電源停止リスクの考え方としては、最大規模のハザードリスクを詳細に検討した結果から検討されているわけではないため、やや課題が残ると考えられる。ここでは、長期停止の可能性が高い原子力発電所の停止のみが評価に考慮されており、火力発電所は比較的早期に復旧が期待できるという前提で評価には十分に考慮されていない。そのため、南海トラフ巨大地震を想定した場合には、対策としての抜けが残る可能性がある。そのため、南海トラフ巨大地震による電力供給制約の詳細な検討を踏まえた上で、今回政府で提示された対策の他にも、必要性の高い対策の検討をしていくことが重要であるといえる。

4.2.2 対策案の提示

政府で検討されている東西連系線の増強に加え、それを補完する観点で必要性の高い対策を検討する。南海トラフ巨大地震を想定した場合における電力供給制約は、現状検討されている東西連系容量が300万kWに増強された場合においても、不足分を十分に融通することができない可能性もある²⁹⁾。そこで、東西連系容量の増強対策の他に、想定される電力供給制約の対策オプションを表4.2に示す。

²⁹⁾ 第3章では、電力供給制約が厳しいシナリオでは、中部、関西、中国、四国の地域において1ヶ月以上、合計で180万kW（現状の120万kWから300万kWに増強された場合の増強分）以上の電力需給ギャップが生じる可能性がある。

表 4.2 対策のオプション

想定される対策	課題
東西周波数の統合	<ul style="list-style-type: none"> ・電気事業者、需要者それぞれにおいて機器の交換が必要となる ・設備交換に係る費用は約10兆円を要する
国際連系線	<ul style="list-style-type: none"> ・連系相手国の政策変更 ・大規模停電の影響伝播の懸念
東西連系容量の更なる増強	<ul style="list-style-type: none"> ・容量増強に伴い供給力対策が必要となるため、コストが飛躍的に上昇する
その他の地域間連系容量の増強	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模電源停止リスクの対策としては必要性の認識が薄い

資料：地域間連系線の強化に関するマスタープラン研究会（2012）³⁶⁾を基に筆者作成

東西周波数の統合と国際連系線については、地域間連系線等の強化に関するマスタープラン研究会によってもオプションとして提示されている³⁶⁾。しかしながら、東西周波数の統合には、大きな技術的課題もあり、それに係るコストも膨大になる。また、国際連系線についても、近年の電力需給の状況を踏まえると、安定供給の観点から真摯な検証を行う必要性が示されている。ただし、連系相手国の政策変更や大規模停電の影響伝播の懸念等の課題がある。

東西連系容量を300万kWからさらに増強するには、融通送電側の供給力増強もそれに伴って必要となり、かつ系統安定化対策も必要となるため、コストが飛躍的に上昇する。そのため、平常時の運用を考えるとこれ以上の増強が低頻度巨大災害リスクを考慮したとしても、更なる増強対策が経済的な面から妥当であるかどうかは判断が難しい。そのため、南海トラフ巨大地震による電力供給制約に伴う地域間電力融通においては、それ以上の容量は東日本からの電力融通に期待するのではなく、西日本の60Hz帯の中での電力融通における有効な対策を検討する必要がある。

現状では、他電力会社から中部電力に向けて送電できる運用容量の合計は400万kWであり、南海トラフ巨大地震による電力供給制約においては中部における電力需給ギャップを解消するまでに送電することができない可能性があ

ることを第3章で指摘した。これが、東西連系容量が300万kWに増強された場合、中部に向けた送電線の運用容量の合計は580万kWとなるが、それでも電力需給ギャップが解消されるまでには至らない可能性がある³⁰。そこで、本研究で検討する対策は、東西連系線以外の中部に向けた地域間連系容量の増強を検討する。

中部に向けた地域間連系容量の増強対策として、中部関西間連系線における関ヶ原北近江間の新規建設を検討する。その理由は、福井県若狭湾沿岸に建設予定である敦賀原子力発電所3,4号機の電力を一部中部に融通するために、関ヶ原北近江線の建設計画として既に存在しているためである。ただ、現在は敦賀発電所建設が未着工であり、その使用開始時期を見ながら計画が止まっている状況である。関ヶ原北近江線が建設されると、南海トラフ巨大地震による電力供給制約が生じた場合において、関西から中部に向けた送電可能な容量が増加するため、電力供給制約のリスクが軽減されることが予想される。そこで、本研究では、大規模電源停止リスクと無関係の文脈から計画された関ヶ原北近江線の建設が実施された場合において、南海トラフ巨大地震対策としてどの程度の有効性を持っているのかを検証する。



図 4.2 関ヶ原北近江線の建設計画

資料：電力系統利用協議会（2013）³⁷⁾を引用

³⁰ 第3章では、電力供給制約が厳しいシナリオにおいて、中部では1ヶ月後に約1400万kW、1ヶ月半後に約800万kWの需給ギャップが生じると推計された。

関ヶ原北近江線の使用開始後は、関西から中部向きの運用容量が 556 万 kW となる³⁸⁾。そのため、送電可能な容量は現状よりも 306 万 kW 増加し、南海トラフ巨大地震により中部の電力供給制約が生じた場合において、リスク軽減の役割を大きく果たすことが見込まれる。ただし、その対策が有効に機能するためには、南海トラフ巨大地震によって被災しない場所に立地している原子力発電所の再稼働状況や火力発電所の新規建設等が前提として必要となることには留意する必要がある。

4.3 対策による有効性評価の視点

南海トラフ巨大地震後の電力供給制約に対する対策の有効性を評価する指標としては、経済被害を用いることとする。その経済被害とは、電力会社の資産のストック被害ではなく、電力需要家の電力使用制限による産業活動の低下に起因する地域間の影響波及を考慮した間接被害（フロー被害）を対象とする。電力供給制約の影響は、すべての社会経済的活動を行っている事業者に影響するため、すべての産業への影響を対象とする。

ただし、社会的に重要な施設においては、今後停電の影響を最小限に抑えるための措置が取られる可能性がある。現在は、東日本大震災の教訓を基に、計画停電において除外すべき対象を守るための技術的問題の解決が促進されている。例えば、変電所の運用改善によって医療機関や国の重要施設、被災地等については可能な限り停電による影響を緩和する方向性が基本となり、鉄道や航空、金融システム等の重要インフラについても技術的に可能な範囲で通電することが提言されている³⁹⁾。そのため、医療施設や鉄道等の事業活動の低下によって引き起こされる特殊な社会経済的影響については考えないこととする。

本研究では、対策を実施した場合、対策を実施しない場合と比較して、南海トラフ巨大地震による電力供給制約に起因する経済被害額が、どの程度軽減されるのかという期待経済被害軽減額を有効性として評価する。そのため、対策実施に係る費用と期待経済被害軽減額を比較して、費用便益分析を行うことが

可能である。電力系統利用協議会（2013）では、電力の供給信頼度向上のための方策を実施した場合の経済性評価に活用するために、停電コストの調査を実施している⁴⁰⁾。東西連系線の増強計画における経済性評価においても、この調査結果が評価に用いられている⁴¹⁾。ここでの停電コストは、アデカシー³¹⁾不足による停電を前提とし、事業所と個人に対してアンケート調査を実施した結果から算出されている。この評価における課題としては、停電によるオンサイトでの直接損害額を対象としていることから、間接的に全国に波及する影響などが含まれていない。

費用便益分析では、1つの財やサービス市場だけを想定した部分均衡の枠組みで行われることが多いが、本来は一般均衡的な波及効果を追求して評価することが望ましいとされる⁴²⁾。南海トラフ巨大地震による電力供給制約は、時間軸として数か月間の影響が継続することから、これによる経済被害を考える上では、時間軸を持って評価することができ、かつ地域間の波及効果を含めた経済被害の推計を行う必要がある。

³¹⁾ アデカシー（Adequacy）とは、需要家の要求する電力（kW）並びに電力量（kWh）を供給できる電力系統の能力のことである。

参考文献

- 31) 朱牟田善治（2013）電気設備の自然災害対策の基本的考え方，電気設備学会誌，Vol.33，No.3，pp.159-162.
- 32) 火力原子力発電技術協会震災復旧調査委員会（2012）東北地方太平洋沖地震火力発電所の被害と復旧調査報告書，震災復旧調査委員会.
- 33) 資源エネルギー庁編（1996）地震に強い電気設備のために，電力新報社.
- 34) 原子力安全・保安部会電力安全小委員会（2012）電気設備地震対策ワーキンググループ報告書.
- 35) 中央防災会議（2011）東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告.
- 36) 地域間連系線等の強化に関するマスタープラン研究会（2012）中間報告.
- 37) 電力系統利用協議会（2013）連系線整備計画に関わる関係事業者の取組について.
(http://www.escj.or.jp/news/2014/H26_torikumi.pdf，2014年11月27日確認)
- 38) 電力系統利用協議会（2014）供給信頼度評価報告書.
- 39) 経済産業省（2012）セーフティネットとしての計画停電について.
(http://www.meti.go.jp/earthquake/electricity_supply/0325_electricity_supsup.html，2014年11月27日確認)
- 40) 電力利用協議会（2013）停電コストに関する調査報告書.
- 41) 電力利用協議会 連系線整備計画に係る委員会（2013）「地域間連系線整備計画に係わる調整プロセス<安定供給>」東京中部間連系設備増強に係わる報告書.
- 42) 長峯純一（2014）費用対効果，ミネルヴァ書房，BASIC 公共政策学第 11 巻.

第5章 電力供給制約による経済被害の推計

5.1 推計手法の検討

5.1.1 経済被害の定義

災害による経済被害を評価する上では、何をもって損失と考えるのかという定義と、いつまでを対象とするのかという時間的範囲、そしてどこまでを対象とするのかという空間的範囲をどう設定するかで金額が異なるため整理が必要となる⁴³⁾。

本研究で評価する経済被害は、直接被害のストックというよりも間接被害のフローの部分に着目する。その理由は、南海トラフ巨大地震による電力供給制約に起因する経済被害を抽出することが目的であり、電力供給制約による影響はストックではなくフローであるためである。

評価する対象の時間軸は、2ヶ月間に設定する。その理由は、個別発電所の被害からの復旧による電力供給があまり期待できず、地域間の電力融通が対策として有力な期間を見るためである。2ヶ月以降は地震の揺れによる被害を受けた火力発電所のほとんどは復旧が期待できる。

発電所の被害に伴う電力供給制約の影響は、送電線や変電所の被害のように一部の地域ではなく、電力会社の管轄域全ての需要家へ影響が及ぼされる。そのため、空間的範囲としては、電力会社の管轄域に近い形で地域範囲を設定し、全国の地域外への波及効果を含めて評価を行うこととする。ここで、海外との取引は考えないため、国内のみの閉じた経済を仮定することとする。

5.1.2 分析手法の決定

本研究で扱う評価対象の設定を満たす手法は、地域間産業連関表を用いた分析が有効といえる。産業連関表を用いた分析手法には、主に産業連関分析と応用一般均衡（Computable General Equilibrium: CGE）モデルがある。どちらもこれまで災害による影響分析手法として多く用いられてきた。Okuyama(2009)は、これらの手法を災害による影響分析に用いる方法論についての特性をまとめて

いる⁴⁴⁾。CGEモデルは、価格調整メカニズムを基礎においたモデルであるため、需要量と供給量が一致するように価格変化に対応することができる点で優れている。CGEモデルを用いた電力供給制約による影響については、山崎ら(2011)⁴⁵⁾、舘ら(2011)⁴⁶⁾、石倉ら(2011)⁴⁷⁾、佐藤(2012)⁴⁸⁾等によって試算されている。しかしながら、東日本大震災後の電力供給制約下において、電力価格は需要抑制が働くほどの上昇ではなく、半強制的な需要抑制という施策で需給均衡が図られた。そのため、本研究で対象とする2ヵ月間の時間軸では、電力産業における価格調整は機能しないと考えられる。また、他の産業においても、価格上昇による需要抑制で均衡が図られた例は少ないとみられる。そのため、南海トラフ巨大地震のような大規模災害を想定してCGEモデルを使う場合、価格調整が働くことを前提とするので、過小評価に陥る可能性があり、モデルの前提が適さない部分が存在するといえる。また、期間的に2ヵ月間で価格調整に至ると考えるのにも問題があろう。一方、産業連関分析は、価格や需要の変化に対応できず、計算に用いる係数等を固定した単純な評価となるが、供給制約による生産活動の低下をダイレクトに把握することができる。そこで、本研究では2ヵ月間は価格や需要が大きく変化しないと仮定し、産業連関分析を評価手法として採用する。

産業連関分析では、需要が供給を決定するとの想定に立った需要サイドモデルが用いられることが多いが、供給が生産量(結果としての需要)を決定する供給サイドモデルも存在する。供給サイドモデルでは、産業連関分析で用いられる投入係数ではなく、生産された財がどう配分されるかという割合を表す配分係数を用いる⁴⁹⁾。電力はほとんどすべての産業が使用するため、間接効果として供給サイドへの影響が大きくなると考えられている⁵⁰⁾。なお、実際の経済活動では、ある産業が供給できなくなることで、その川上産業が供給先を失うといった需要サイドへの影響もあるが、本研究では電力供給制約の影響を比較評価するものであるため、供給サイドのみへの影響を評価した簡便な手法を進めても、比較評価のためには有効な示唆がある程度得られると考えられる。

供給サイドモデルの問題点について、例えば、長谷部(2002)は、配分係数が一定と仮定されることや生産関数に完全代替性を仮定することにより一般の市場経済に馴染まないといった面の課題があることを指摘している⁵¹⁾。しかし

ながら、対象とする2ヶ月の短期間においては、ある産業の財から他の産業の財への配分構造³²は変化しないと仮定することについて、大きな問題はないと考えられる。ただし、完全代替性の仮定は、東日本大震災で問題となったような特殊な生産財の代替困難性等を表現できないことにつながる。本研究では、産業連関表の特性や詳細なデータ収集という面で制約があり、この部分を改善する手法を取り入れることができなかった。これについては今後の課題とする³³。

また、産業連関分析において生産額を算出する上では、均衡産出高を計算する手法と逐次計算による均衡するまでの段階的な波及的算出高を計算する手法がある。本研究では、大規模災害後の2ヵ月間の経済への影響を想定するため、ある程度の調整時間を経て均衡する値で評価するのではなく、段階的な波及効果の初期のプロセスを取り出して対策効果を評価できる逐次計算による方法を用いる。

地域間産業連関表をそのまま使用すると1年間の生産額が計算される。そこで、地震発生後2ヶ月間の生産額の値を出すには、この2ヵ月間の平均した投入量(平常時より地震被害で低下する項目が多い)から出た生産額の計算結果を12分の2にしたものがこれに当たるとみなす。

5.1.3 評価基準の考え方

電力供給制約の対策の有効性について、産業連関分析を用いて評価する上で、この対策によって軽減できる経済被害を抽出する必要がある。そこで、電力を除く産業の災害による直接被害に起因する経済への影響(電力供給制約がない場合の影響)と、電力を含む全産業への災害による直接被害に起因する経済への影響(電力供給制約を加えた影響)を別途試算し、その差分を電力供給制約単独の経済被害と定義する。これを評価基準として、電力供給制約への対策を

³² ここでいう配分構造とは、同一の産業間での配分構造ではなく、異なる産業との配分構造である。東日本大震災では、震災の影響によって供給がストップした財について、同一産業間で取引が切り替えられた例は多く見られるものの、異なる産業との取引が短期間で大きく変化した例については少ないとみられる。

³³ このような完全代替の仮定における課題を克服するために、岡田ら(2012)、下田ら(2012)等による災害後の経済影響を評価する既存の研究^{52) 56)}において、供給サイドモデルとさまざまな手法を組み合わせた評価手法の開発の試みも進められている。

実施した場合の差分の変化量を対策の有効性として評価する。評価基準のイメージを図5.1に示す。

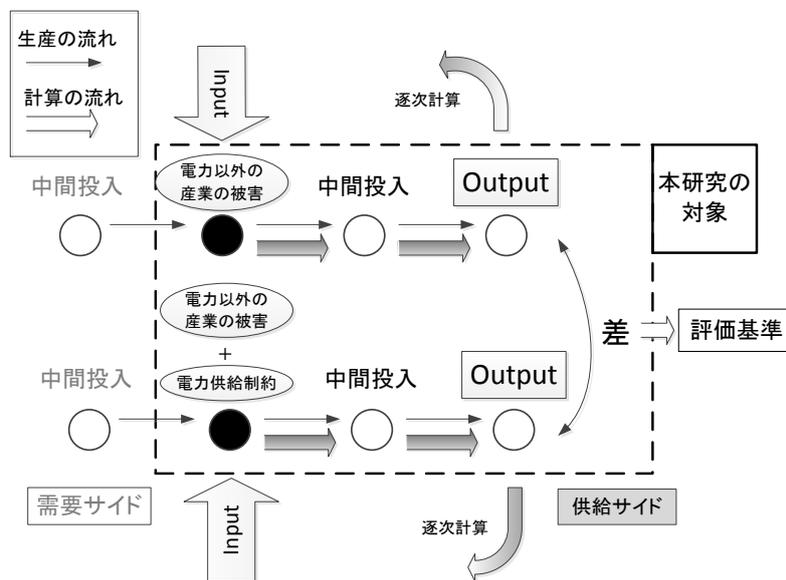


図5.1 評価基準のイメージ

5.1.4 利用データ

産業連関分析に用いるデータは、平成17年地域間産業連関表(53部門分類)³⁴とし、地域区分は表5.1に示す通りである。

表5.1 産業連関分析の地域区分

地域区分	対象都道府県
北海道	北海道
東北	青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 福島
関東	茨城, 栃木, 群馬, 埼玉, 千葉, 東京, 神奈川, 新潟, 山梨, 長野, 静岡
中部	富山, 石川, 岐阜, 愛知, 三重
近畿	福井, 滋賀, 京都, 大阪, 兵庫, 奈良, 和歌山
中国	鳥取, 島根, 岡山, 広島, 山口
四国	徳島, 香川, 愛媛, 高知
九州	福岡, 佐賀, 長崎, 熊本, 大分, 宮崎, 鹿児島
沖縄	沖縄

資料：経済産業省経済産業政策局調査統計部(2010)⁵⁷⁾を引用

³⁴ 経済産業省のWebサイトに公表されているデータを用いた。
(http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tiikiio/result/result_02.html, 2014年11月27日確認)

5.2 分析

5.2.1 供給サイドモデル

災害による被害率を d とし、残存生産率 $\lambda = 1 - d$ とすれば、被災後の生産額 \bar{X} は [3] のように表される。ここで、 d に関して、電力以外の産業の被害率 d_d 、電力産業の被害率 d_e とし、それぞれ後述の計算手法によって設定する。

$$\bar{X} = \lambda X \quad [3]$$

\bar{X} : 被災後の生産額, X : 被災前の生産額.

ここで、[3]式によって得られた被災後の生産額を分析における最初の投入変数とする。

モデルの前提として、財の配分係数（平常時のもの）は被災後も一定としている。また、異なる地域から供給される財であっても同じ財であれば同一として完全代替の仮定を設定する。なお、この仮定では、東日本大震災で露呈したような細かいスペックの違いで代替の部品等が得られなかった問題等を反映することができないことには注意が必要である。また、異なる財に関しては完全非代替の仮定を設定する。輸入量に関しては、国内財の供給制約に陥った場合には、海外からの供給に切り替える代替措置が取られると想定できるが、2 ヶ月間はさほど大きく変化しないと仮定し、輸入率を災害前と同一と設定する。以上の仮定は、岡田ら（2012）による供給サイドモデル⁵²⁾によって表現されている。その供給サイドモデルを以下に示す。

$$\bar{x}_{ij}^s = \{ \sum (T_i^{rs} \bar{X}_j^s) + M_i^s \} \times S_{ij}^s \quad [4]$$

$$T_i^{rs} = \frac{E_i^{rs}}{X_i^r} \quad [5]$$

$$S_{ij}^s = \frac{x_{ij}^s}{I_i^s} \quad [6]$$

$$\hat{X}_j^s(t) = \min\left\{\frac{x_{ij}^s}{a}, \bar{X}_j^s\right\} \quad [7]$$

\bar{x} : 被災後中間投入額, i, j : 財, r, s : 地域, T : 地域間配分係数, M : 輸入額, S : 産業間配分係数, E : 地域間の供給額, x : 被災前中間投入額, I : 地域内の供給額, \hat{X} : 計算後の被災後の生産額, (t) : t 回目計算, a : 投入係数.

以上が, 逐次計算 1 回の計算プロセスであり, 算出された被災後の生産額を再度投入して計算を繰り返す.

5.2.2 電力以外の産業の被害率

分析の初期投入の値である電力以外の産業の被害率 d_d は地域区分別に設定する. ここで, 電力以外の産業における生産額は資本ストックと労働力の減少によって決まるとし, [9]の生産関数を設定してその減少分を被害率とする.

$$d_d = \frac{\Delta Y}{Y} \quad [8]$$

$$Y = A K^\alpha L^\beta \quad [9]$$

ΔY : 被災後の生産減少額, Y : 生産額, A, α, β : 定数, K : 民間資本ストック額, L : 労働力.

定数については, 都道府県別の GDP³⁵, 民間資本ストック額³⁶, 就業者数の時系列統計データ³⁷を用いて, GDP を被説明変数, 民間資本ストック額と就業者数を説明変数として重回帰式によって決定する. 実際の災害では, 当然産業別に被害率は異なるが, 本研究では被災地域の産業構造の特徴等を踏まえて産

³⁵ 内閣府の Web サイトで公表されている県民経済計算を参照した.
(http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/sonota/kenmin/kenmin_top.html, 2014 年 11 月 27 日確認)

³⁶ 内閣府の Web サイトで公表されている民間企業資本ストックを参照した.
(http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/sonota/minkan/minkan_top.html, 2014 年 11 月 27 日確認)

³⁷ 総務省統計局の Web サイトで公表されている労働力調査 (基本集計) 都道府県別結果を参照した.
(<http://www.stat.go.jp/data/roudou/pref/index.htm>, 2014 年 11 月 27 日確認)

業別の被害を評価するまでにはデータ入手や手法の検討の不足から、至っていない。すなわち、産業連関表で分類される 53 部門の生産財別の被害率はすべて d_d で一定として設定を行うこととする。

喪失ストック額と喪失労働力の算出には、内閣府（2013）による方法⁵³⁾を参考とする。以下の方法により、民間資本ストック喪失額を地域区分別に算出する。

$$\Delta K = d_M K_M + d_0 K_0 \quad [10]$$

ΔK ：喪失ストック額， d_M ：製造業の平均建物被害率， d_0 ：非製造業の平均建物被害率， K_M ：被災前の製造業のストック額， K_0 ：被災前の非製造業のストック額。

地震被害の建物の復旧率と津波被害の建物の復旧率は異なるため別途計算を行う。まず、建物の全半壊率を算出する。地震の揺れによる被害は市町村毎に相当異なるため、本来すべて市町村別のデータを取り扱う必要があるが、法人建物の市町村別の構造別（木造・非木造）、建設時期別（1981 年以前・以降）のデータが存在しないことから、都道府県別の構造別・建築時期別の割合を抽出し、各市町村にはその都道府県の割合を適用することで代用する³⁸。これらと震度との関係から全半壊率曲線³⁹を用いて、市町村別の全半壊率を求める。これを都道府県に占める市町村の生産額比⁴⁰で按分して都道府県別の全半壊率にまとめる。

次に、津波による建物被害率を決定する。先述した全半壊率は、市町村別の震度から決定しているため、津波による被害を受ける建物の割合が含まれてしまっている。そこで、地震のみの被害の割合と津波による被害の割合を分割す

³⁸ 国土交通省の Web サイトで公表されている法人建物調査を参照した。

(<http://tochi.mlit.go.jp/generalpage/2312>, 2014 年 11 月 27 日確認)

³⁹ 全半壊率曲線は、2013 年の東京都防災による南海トラフ巨大地震等による被害想定で用いられたデータを適用する。

(<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/taisaku/1000902/1000402.html>, 2014 年 11 月 27 日確認)

⁴⁰ 市町村の生産額とは、総務省統計局による市町村別の経済基盤データによる農業産出額、製造品出荷額、商業年間商品販売額の合計で行った。

(<http://www.stat.go.jp/data/s-sugata/index.htm>, 2014 年 11 月 27 日確認)

る必要がある。ここで、都道府県別の可住地面積に占める津波浸水面積(30cm)の割合⁴¹を津波浸水率として、全半壊率に対するこの割合を津波による建物被害率とし、地震による全半壊率から津波による建物被害率を除いた割合を地震のみによる建物被害率とする。

ここで、地震被害による建物の復旧率は、阪神・淡路大震災での事例を参考とする。1年後の社屋の建て直し率は製造業、非製造業それぞれ 58.8%、53.6%⁵⁴とし、復旧プロセスを線形と仮定して2ヶ月間の平均被害率を算出する。平均被害率のイメージについては図 5.2 に示し、平均被害率は全体の面積 A に占める面積 B の割合として表す。

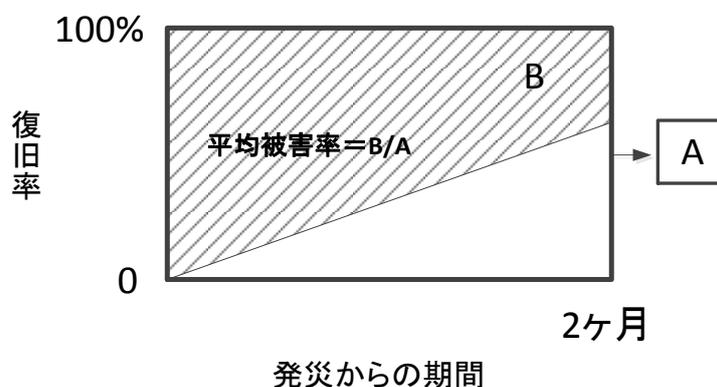


図 5.2 平均被害率のイメージ

地震のみによる建物被害率に製造業、非製造業の平均被害率を掛けてそれぞれの平均建物被害率を算出する。一方、津波被害の建物の復旧率については、内閣府による仮定⁵³と同様に、1年間で製造業、非製造業同じく 10%として設定する。これも同様に2ヶ月間の平均被害率と津波による建物被害率を掛けて平均建物被害率を算出する。最後に両者を合算し、 d_M 、 d_o とする。そして、都道府県別に喪失資本ストック額を算出し、地域区分別にまとめる。

次に、喪失労働力についても以下の方法により、地域区分別に算出する。

⁴¹ 市町村別の津波浸水 30cm の面積については、内閣府の Web サイトで公表されている「南海トラフ巨大地震の市町村別震度や津波浸水等の被害想定データ」を参照した。
(<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.htm>, 2014 年 11 月 27 日確認)

$$\Delta L = L(\text{死者率} + \text{失業} \cdot \text{休業者率}) \quad [11]$$

ΔL ：喪失労働力， L ：被災前労働力。

死者率については，南海トラフ巨大地震の被害想定⁴²における夕方（18時）滞留人口ベースの推計値を用いて算出する。震度 6 弱以上の地域における失業・離職率は，内閣府⁵³同様 3.6%として推計する。

5.2.3 電力産業の被害率

電力産業の被害率の決定は，第 3 章の手法を用いる。本章では，結果についてシナリオ間の比較検討はしないため，すべて原子力発電所が未稼動でかつ電力供給制約が厳しいシナリオ⁴³として統一する。また，地域間電力融通の手法についても第 3 章と同様の設定とした。

発電所の被害から生産額の減少を決定するためには，被災後の供給力が需要量に対して制約される割合を用いる。そのため，電力供給制約による被害率 d_e は [12]のように，需要と供給の関係から制約される割合として定義する。そして，電力供給制約の割合を生産額の減少率として換算して，モデルに適用する。

$$d_e = \frac{(\text{需要量} - \text{供給可能量})}{\text{需要量}} \quad [12]$$

ここで，需要量よりも供給可能量の方が大きい場合は，被害率は 0 として設定した。供給可能量は時系列で算出することができるため， d_e は 2 ヶ月間の平均被害率とする。平均被害率のイメージについては，図 5.2 と同様であるが，第 3 章の手法では，2 ヶ月までに，1 日，2 日，30 日，45 日後の時点での数値が算出されるため，ここでは各時点での数値を反映させている。

⁴² 内閣府の Web サイトで公表されている「南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）」を参照した。

(<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.htm>, 2014 年 11 月 27 日確認)

⁴³ 電力供給制約が厳しいシナリオとは，南海トラフ巨大地震の強震特性が「陸側」で，津波の大すべり域が「駿河湾～紀伊半島」のケース，地震発生月が 7 月であるケースのことを指す（詳しくは第 3 章を参照）。

また、 d_e は電力会社管轄域別に算出されるが、産業連関分析用の地域区分と電力会社の管轄域とは異なる地域が存在するため最終的に産業連関分析用の地域別に換算する必要がある。東北、東京、中部、北陸、関西電力管轄域における地域区分との違いを表 5.2 に示し、その他の電力会社管轄域については同じであるため表記は省略する。

表 5.2 電力会社管轄域と地域区分の違い

電力会社	都道府県	地域区分
東北電力	新潟県	関東
東京電力	茨城県	
	栃木県	
	群馬県	
	埼玉県	
	千葉県	
	東京都	
	神奈川県	
	山梨県	
中部電力	長野県	
	静岡県	
	岐阜県	
	愛知県	
北陸電力	三重県	中部
	富山県	
	石川県	
関西電力	福井県	近畿
	滋賀県	
	京都府	
	大阪府	
	兵庫県	
	奈良県	
和歌山県		

注：電力会社の管轄域において、実際は静岡県や福井県の一部地域が異なるが、ここでは静岡県すべて中部電力、福井県すべてが北陸電力の管轄域として表示している。

ここで、電力使用量の大きさと GDP の大きさは比例すると仮定し、都道府県別の GDP 比によって地域区分に換算することとする。例えば、関東地域の被害率を決定する場合、関東地域内に占める長野県と静岡県の GDP 比を中部電力地域の被害率に掛け合わせ、関東地域内に占める東京電力管轄域の都道府県の GDP 比を東京電力の被害率に掛け合わせ、両者を加えたものを関東地域の被害

率とする。ただし東北電力の被害率はゼロなので新潟県については処理しない。その他の都道府県についても同様の方法によって処理を行う。ただ、電力会社の管轄域は、静岡県や福井県は一部の地域が異なる電力会社の管轄域になっているが、その点は考慮しないこととする。

需要量の設定については第3章と少し異なる。東日本大震災で供給制約下にあった地域において15%の使用制限令や節電努力が促進されたことを考慮し、すべての需要家による15%の電力需要抑制が期待できるものとして、本研究でも15%の需要抑制がされるものとして考慮した。

5.3 推計結果の考察

算出した d_a と電力供給制約が厳しいシナリオにおける d_e の値を表5.3に示す。これらの数値を用いて、各地域における各産業に設定し、産業連関分析を用いた影響の波及効果を計算し、電力供給制約による経済被害を抽出する。

表 5.3 被害率の設定

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
d_a	0	0	0.015	0.126	0.110	0.071	0.332	0.037	0
d_e	0	0	0.040	0.280	0.182	0.098	0.275	0.007	0

表5.3の被害率を用いて推計された、地域毎の生産額減少率を図5.3に、生産減少額を図5.4に示す。

図5.3から、地域別の生産額減少率は四国で3割以上であり最も大きいことが分かる。中部においても3割に近い生産額への影響が生じる。しかしながら、四国においては、生産額の減少はすべて電力以外の産業被害に起因しているが、中部や近畿においては、電力供給制約に起因する生産額の減少の割合の方が大きいことが分かる。

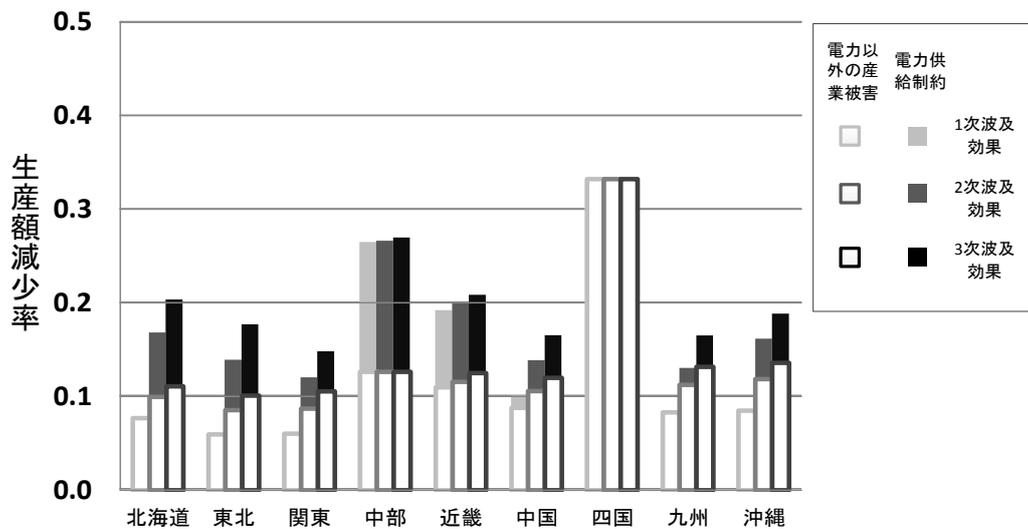


図 5.3 地域別生産額減少率

また、直接的な被害が皆無である北海道や東北、沖縄においても、経済被害の波及が大きいことが分かる。このような地域は被害が甚大になると予想される地域からの財の移入率が高いということが影響していると考えられる。直接被害が生じない地域において、1次波及効果に電力供給制約の影響が表れない理由は、もともと電力自体の地域間の取引が非常に小さいため、電力供給制約による影響は2次波及以降に、遅れて生じてくるということである。

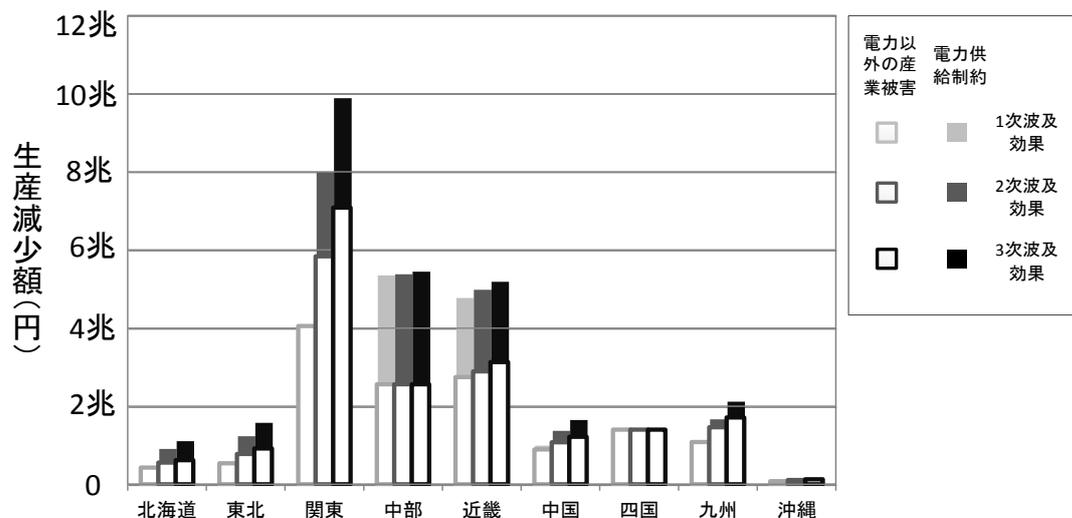


図 5.4 電力供給制約による影響の生産減少額

図 5.4 より、生産減少額を地域別にみると、関東における経済被害が無視できない程大きいことが分かる。関東では、2 次波及以降の電力供給制約に起因する経済被害は、約 2 兆から約 3 兆円にのぼる可能性がある。中部と近畿においても約 5 兆円の経済被害の影響が見込まれ、半分以上の約 3 兆円は電力供給制約による要因であることが分かる。四国は経済規模が小さいため、生産減少率としては高いが、生産額としてみるとあまり大きくない。

内閣府による南海トラフ巨大地震の推定経済被害は最大で総額約 220 兆円⁵⁵⁾と試算されている。このうち、生産・サービス低下に起因するものとして推計された 44.7 兆円の内訳には、電力供給抑制による影響は含まれていない⁵³⁾。電力供給制約に起因する経済被害の全国の総額は、全国的に電力供給制約の影響が波及する 2 次波及段階において約 8.6 兆円である。すなわち、電力供給制約が厳しい場合においては、電力供給制約による経済被害を含めた総額は、内閣府による試算に加えて、約 8.6 兆円以上増加する可能性があるといえる。

ただし、本推計においては、サプライチェーンの途絶による影響を受けた企業が事業継続を果たすために取る代替措置が考慮されていないため、実際には推計された額よりも抑制される可能性があることには留意する必要がある。また、期間として 2 ヶ月間に限定しているため、2 ヶ月後以降にさまざまな産業で供給力が回復した場合には、2 ヶ月間の経済被害を埋めるように、増産措置が取られる可能性があるため、より長期間でみた場合には、経済被害は抑制される可能性が高い。

5.4 まとめ

本章において提示した推計手法を用いると、電力供給制約に起因する経済被害額と電力以外の産業被害に起因する経済被害額を分類して評価することができる。その結果、四国における経済被害のほとんどが電力以外の産業被害に起因する経済被害であることが分かった。一方、中部や近畿においては、経済被害の半分以上が電力供給制約による経済被害であることが分かり、電力供給制

約に向けた対策は中部や近畿において重要であることが指摘できる。また、直接的に被害がない、北海道や東北、沖縄への波及効果も大きく、関東における経済被害額は非常に大きいものとなることが得られた。

電力供給制約に起因する経済被害については、電力セクターにおける対策によって軽減することが可能である。本推計の考え方を適用することで、対策による経済被害軽減額を評価することにつながると考えられる。

また、本推計で用いた分析の手法に関する課題としてはいくつか残っている。まず、電力以外の産業の被害を一定に設定したことが挙げられる。これにより、電力供給制約の影響が正確さを欠き、あるいは過大に評価された可能性もある。例えば、被害が甚大な太平洋沿岸部に集中的に立地している産業（電力以外）の機能停止が、ボトルネックとなって他産業への影響が大きくなることを考慮することができなかった。そのような産業を考慮するためには、その産業の被害の特性を踏まえて個別に推計する必要があるといえる。

次に、産業連関分析における地域区分の設定が挙げられる。電力会社管轄域との地域区分が異なるため、電力供給制約による影響を直接的に反映させることができていない。そのため、電力会社管轄域毎に設定した地域関産業連関表を別途作成して用いることができれば、その課題は解決できると考えられるが、本研究ではそれに至らなかった。

最後に、個々の推計計算のプロセスにおいて、震度予測は市町村毎にあるのに、他データが都道府県単位でしか入手できずに市町村別が十分に活かせなかった点、被災建物の復旧速度について実証的なデータが十分でない点等、個々に改善が望まれる点がかなり残る。

以上のような課題が残り、推計結果には誤差が含まれているため、推計手法の改善を行い、精度の向上が求められる。ただし、本推計結果から得られた、地域別経済被害における要因別割合の特性についての成果等において、大きな問題とはならないと考えられる。

参考文献

- 43) 上野山智也・荒井信幸（2007）巨大災害による経済被害をどう見るか - 阪神・淡路大震災、9/11 テロ、ハリケーン・カトリーナを例として - ，内閣府経済社会総合研究所，ESRI Discussion Paper Series，No.177.
- 44) Okuyama Yasuhide（2009）Critical Review of Methodologies on Disaster Impact Estimation, background paper for Assessment on Economics of Disaster Risk Reduction, the Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), the World Bank.
- 45) 山崎雅人・落合勝昭（2011）東日本大震災および関東地方における電力制約の経済影響 - 日本の多地域 CGE（応用一般均衡）モデルによる分析 - ，日本経済研究センター，JCER DISCUSSION PAPER，No.131.
- 46) 舘祐太・落合勝昭（2011）原子力発電全停止による地域・産業別影響の試算 - 火力代替可能な中部・中国では影響軽微も、東北では打撃大きく - ，JCER DISCUSSION PAPER，No.132.
- 47) 石倉智樹・石川良文（2011）東日本大震災に伴う発電所被災がもたらす電力危機と波及的被害，産業連関，Vol.19，No.3，pp.51-59.
- 48) 佐藤仁（2012）電力供給と産業構造，RIETI Discussion Paper Series，経済産業研究所，12-J-007.
- 49) Miller, Ronald E. and Blair, Peter D.（2009）Input-Output Analysis Foundations and Extensions second edition, Cambridge University Press.
- 50) 宍戸駿太郎（2010）産業連関分析ハンドブック,東洋経済新報社.
- 51) 長谷部勇一（2002）災害の経済的評価 - 産業連関表による供給制約型モデル - ，環太平洋産業連関分析学会 13 回大会報告集.
- 52) 岡田有祐・奥田隆明・林良嗣・加藤博和（2012）前方連関効果を考慮した広域巨大災害の産業への影響評価，第 45 回土木計画学研究発表会.
- 53) 内閣府中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要～ライフライン被害，交通施設被害，被害額など～,2013.
(http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_shiryo4.pdf,
2014 年 11 月 27 日確認)

- 54) 神戸商工会議所（1995）阪神大震災に関する被害及び今後の神戸経済に関する調査結果.
- 55) 内閣府中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（2013）南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）～経済的な被害～.
(http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_shiryo3.pdf,
2014年11月27日確認)
- 56) 下田充・藤川清史（2012）産業連関分析モデルと東日本大震災による供給制約, 産業連関, Vol.20, No.2, pp.133-146.
- 57) 経済産業省経済産業政策局調査統計部（2010）平成17年地域間産業連関表（概要）
(http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tiikiio/result/result_02/pdf/h17_irio_gaikyo.pdf, 2014年11月27日確認)

第6章 対策による経済被害軽減効果の評価

6.1 評価の考え方

本章では、対策を実施した場合における経済被害軽減額を評価する。そこでまず、評価においては、対策を実施したケースの電力の被害率を設定する。それを、第5章で示した手法を用いて、評価基準である電力供給制約による経済被害額を推計する。その評価基準を対比する対策実施前のケースと比較し、その差分を対策による経済被害軽減額として定義する。経済被害軽減額の評価イメージを図6.1に提示する。

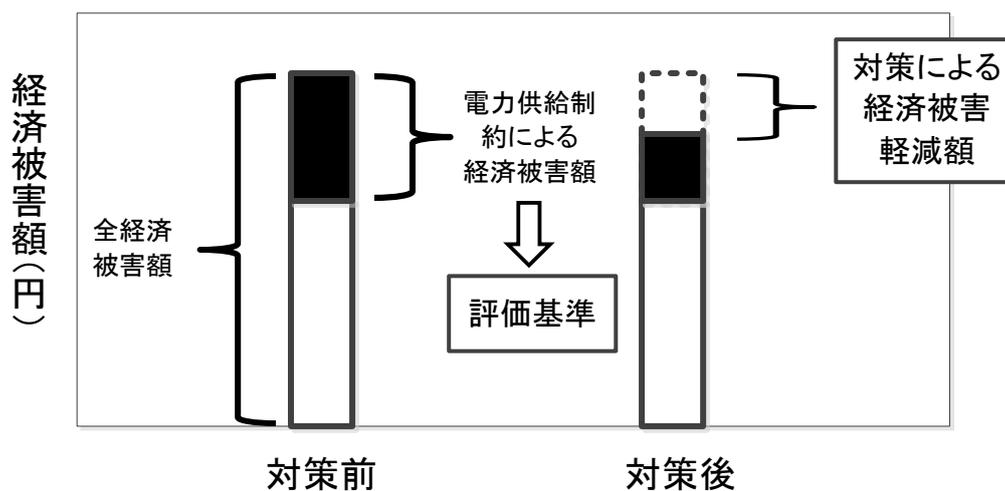


図 6.1 経済被害軽減額評価のイメージ

本章で評価する対策は、現在政府で検討されている東西連系線の増強対策と第4章で検討した中部関西間連系線として、関ヶ原北近江線の増強対策を考える。そして、両者の期待経済被害軽減額と対策に係る費用と併せた費用便益分析による評価を行う。これによって、南海トラフ巨大地震の防災・減災に係る政策的観点から、追加的対策の必要性やそれを実施する上での課題について考察する。

また、設備投資のかからない事後対応についても検討する。具体的には、地

域間電力融通の配分量を地域間で変化させることによる経済被害軽減効果について分析する。それは、南海トラフ巨大地震が発生し、複数の地域で数ヶ月間電力供給制約が生じてしまった場合において、どのような地域間配分を実施すべきかという政策的判断のオプションを増やすためである。

また、本章では、原子力発電所の稼働状況はすべて未稼働として、電力供給制約の厳しいシナリオと緩いシナリオの2つのシナリオで評価することとする。

6.2 地域間連系線の増強対策の評価

6.2.1 東西連系線の増強

政府で検討されている東西連系線の増強対策案は、まず210万kWまで増強し、その後政策的に必要であると判断した場合に300万kWにまで増強するというものである。そこで、東西連系容量が210万kW、300万kWまで増強した2ケースを設定し、それぞれに電力供給制約が厳しい場合と緩い場合における対策による経済被害軽減額を算出する⁴⁴。それぞれのケースにおける被害率を表6.1にまとめる。

表6.1の被害率を用いて推計された、それぞれの対策後のケース（210万kW増強ケースと300万kW増強ケース）の評価基準と、基本ケース（現状の120万kWケース）の評価基準とを比較して、どれだけ経済被害が軽減されるかを評価する。対策による経済被害軽減額の結果を表6.2に示す。電力供給制約が厳しいシナリオと緩いシナリオでは、経済被害軽減額が異なるため、幅のある表記としている。ちなみに、表記上の経済被害額の最小値が電力供給制約の緩いシナリオであり、経済被害額の最大値が厳しいシナリオである。

⁴⁴ 電力供給制約が厳しい場合は、南海トラフ巨大地震における強震動生成域が陸側でかつ発生月が7月である設定、緩い場合は強震動生成域が基本でかつ発生月が4月である設定である。

表 6.1 東西連系容量の増強ケース別の被害率の設定

	d _a		d _e					
			120万kW (基本)		210万kW (増強ケース)		300万kW (増強ケース)	
電力供給 制約	厳しい	緩い	厳しい	緩い	厳しい	緩い	厳しい	緩い
北海道	0	0	0	0	0	0	0	0
東北	0	0	0	0	0	0	0	0
関東	0.015	0.015	0.040	0.024	0.034	0.020	0.027	0.017
中部	0.126	0.109	0.280	0.175	0.230	0.144	0.180	0.119
近畿	0.110	0.079	0.182	0.037	0.177	0.037	0.171	0.029
中国	0.071	0.018	0.098	0.007	0.098	0.007	0.098	0.007
四国	0.332	0.227	0.275	0.047	0.269	0.040	0.263	0.032
九州	0.037	0.029	0.007	0.003	0.007	0.003	0.007	0.003
沖縄	0	0	0	0	0	0	0	0

表 6.2 東西連系容量の増強による経済被害軽減額

増強ケース		210万kW			300万kW		
波及効果		1次	2次	3次	1次	2次	3次
経済被害軽減額 (億円)	北海道	0	7264~1158	1007~1587	0	1292~2014	1793~2759
	東北	0	9064~1449	1345~2091	0	1624~2524	2363~3641
	関東	0~5	1550~5825	3101~7857	0	2778~10331	5499~13585
	中部	5848~9000	5807~8962	5913~9082	10482~15629	10362~15562	10550~15774
	近畿	0~2627	2476~3633	3773~4543	0~4895	4228~6599	6246~8142
	中国	0~38	343~749	730~1252	0~751	570~1331	1114~2206
	四国	0	0	0	0	0	0
	九州	0	219~626	539~1389	0	364~954	826~2056
	沖縄	0	72~141	86~167	0	104~246	125~266
	全国(合計)	5848~11669	12101~22543	16494~27968	10482~20604	21323~39562	28515~48429

東西連系容量を 210 万 kW まで増強したケースにおいては、1 次波及効果として、中部において 5848~9000 億円の経済被害が軽減され、近畿や中国においても電力供給制約が厳しい時で経済被害軽減の効果が見込まれる。四国において経済被害軽減効果がほとんどないのは、四国では電力以外の産業の被害率の方が電力の被害率よりも大きく、そもそも四国の生産額が小さいこともあり、電

力供給制約対策による経済被害の軽減はほとんど見込めないことが反映されている。実際には計算上で数百万単位の経済被害軽減効果が出ているが、他と比較して小さいため表記上省略している。2次波及以降、被災地での電力供給制約による影響が全国的に波及した後では、全国の経済被害額軽減効果としては、約1兆～3兆円が見込まれる。

300万kWまで増強したケースでは、210万kW増強ケースと比較して約2倍程度の効果があることが期待できることが分かる。全国の経済被害額の軽減効果は、約1兆～5兆円である。

6.2.2 中部関西間連系線の増強

中部関西間連系線の関ヶ原北近江線を建設したケースを設定し、その対策による経済被害軽減額を算出する。ここで、東西連系容量が210万kWに増強された上で関ヶ原北近江線が建設されたケースと、300万kWまで増強された上で関ヶ原北近江線が建設されたケースの2種類を考える。表6.3において、それぞれのケースでの被害率をまとめる。

表 6.3 中部関西間連系線容量の増強ケースの設定

東西連系容量	d_e							
	210万kW				300万kW			
	増強前		増強後 (+供給力増強)		増強前		増強後 (+供給力増強)	
電力供給制約	厳しい	緩い	厳しい	緩い	厳しい	緩い	厳しい	緩い
北海道	0	0	0	0	0	0	0	0
東北	0	0	0	0	0	0	0	0
関東	0.034	0.020	0.024	0.008	0.030	0.017	0.022	0.007
中部	0.230	0.144	0.152	0.043	0.197	0.119	0.134	0.038
近畿	0.177	0.037	0.157	0.011	0.171	0.029	0.150	0.007
中国	0.098	0.007	0.098	0.007	0.098	0.007	0.098	0.007
四国	0.269	0.040	0.179	0.013	0.232	0.032	0.158	0.009
九州	0.007	0.003	0.007	0.003	0.007	0.003	0.007	0.003
沖縄	0	0	0	0	0	0	0	0

関ヶ原北近江線を建設した場合、関西から中部向けの運用容量は現状の 250 万 kW から 556 万 kW に増加する。すなわち、306 万 kW 分現状より増加する。ここで、被害軽減効果としては、現状の基本ケースと比較するのではなく、東西連系容量が 210 万 kW においては、中部関西間連系線の増強対策を実施前後で電力供給制約による経済被害がどれだけ軽減されたかを評価し、300 万 kW の場合も同様に増強対策の実施前後で評価する。また、中部関西間連系線を増強しただけでは、送電線の容量は増えるが、融通可能な電力量は変化しない。東西連系線の増強の場合は供給力が余っている地域からの電力融通であるので問題とはならないが、中部関西間連系線の増強の場合は、被害が生じる西日本の中で電力融通量を確保しなければならないため、融通可能な電力量の制約がボトルネックとなる。実際、供給力が増加しなかった場合には、電力供給制約が厳しいシナリオであると、電力融通可能量の制約がネックとなり、送電線の増強の効果が発揮されない。そこで、それぞれのケースにおいて、中部関西間連系線の増強に加え、運用容量の増加分である 306 万 kW の供給力（被災後に低下しない供給力として発災直後から融通可能）も同時に増加すると仮定したケースを設ける。被災しない地域における供給力の増強については、原子力発電所の再稼働や火力発電所の新規建設等が考えられるが、ここでは中部関西間連系線の増強効果に着目するため、供給力の詳細な設定は行わないこととする。以上の被害率を設定したケースによる経済被害額の推計結果を表 6.4 に示す。ここでも、東西連系線増強ケースの場合と同様に、電力供給制約が厳しいシナリオと緩いシナリオにおける違いを表記上、最大値と最小値として幅のある表現にしている。

表 6.4 中部関西間連系線の増強ケースにおける経済被害額

東西連系容量		210万kW			300万kW		
波及効果		1次	2次	3次	1次	2次	3次
経済被害軽減額 (億円)	北海道	0	610~1960	922~2679	0	45~1537	136~2089
	東北	0	776~2491	1186~3592	0	58~1982	169~2857
	関東	0	1327~11235	2743~13873	0	99~9584	344~11518
	中部	5036~15197	5574~15111	5827~15324	402~11973	1019~11892	1190~12061
	近畿	0~6589	1795~7506	2608~8509	0~6319	42~6525	135~6910
	中国	0~116	234~1289	411~1925	0~111	7~895	27~1307
	四国	0	0	0	0	0	0
	九州	0	156~808	328~1609	0	12~683	41~1323
	沖縄	0	34~190	45~210	0	2~110	6~154
	全国(合計)	5036~21901	10505~40589	14069~47721	402~18402	1283~33208	2048~38220

東西連系容量が 210 万 kW しか増強されなかった場合における，中部関西間連系容量の増強（供給力の増強）による経済被害軽減額は，全国の合計で約 5000 億円～約 5 兆円であることが分かる。

一方，東西連系容量が 300 万 kW まで増強された場合における中部関西間連系容量の増強（供給力の増強）による経済被害軽減額は，最小値だけでみると約 400 億円～約 2000 億円であり，210 万 kW のケースと比較して，最小値における効果は薄いことが分かる。これは，電力供給制約が緩いシナリオにおいては，東西連系容量が 300 万 kW までであった場合には，中部向けの融通可能量を増強しなくとも，ほとんどの電力供給制約の影響を抑制できていたためである。ただし，電力供給制約が厳しいシナリオにおいては，対策による経済被害軽減額は約 2 兆円～約 4 兆円であるため，効果は大きいといえる。

6.2.3 費用便益分析

対策による期待経済被害軽減額と対策に係る費用を用いて費用便益分析を行う。まず，政府で検討されている東西連系線の増強に係る費用について検討する。東西連系容量を 90 万 kW ずつ，それぞれ 210 万 kW，300 万 kW に増強する建設コスト（年経費）は，92～95 億円，63～117 億円と算定されている⁵⁸⁾。

300万kWのコストは210万kWの状態から増強した場合のコストであるため、現状からの増強するコストとすると、155～212億円である。算出した経済被害額は2ヵ月間で設定しているため、年経費の12分の2で設定する。建設コストの中央値を用いると、210万kWと300万kWの2ヶ月間の経費は、15.6億円、30.6億円である。

次に、関ヶ原北近江線の建設に係る開閉所と送電線の建設コスト（年経費）を算定する。建設する連系線は既存の計画通りのものとし、表6.5に示すように、距離2kmで500kV送電線が2回線と、開閉所が2箇所である。

表 6.5 関ヶ原北近江線の詳細

送電線距離(km)	2
電圧(kV)	500
回線数	2
開閉所(箇所)	2

資料：電力系統利用協議会連系線整備計画に係る委員会（2013）⁵⁸⁾を基に筆者作成

まず、建設コストについては、[13]式に基づいて計算する。

$$C = IC + MC \quad [13]$$

ここで、C：建設コスト（年経費）、IC（Initial Cost）：初期投資に係る費用（年経費）、MC（Maintenance Cost）：運転維持費用（年経費）である。

ICについては、[14]式から算出する。割引率については、東西連系容量の増加における設定と同様に3%として設定した⁵⁸⁾。

$$\text{概算工事費} = \sum_{t=1}^T \frac{IC}{(1+0.03)^t} \quad [14]$$

ここで、T：耐用年数である。

各種設備の法定耐用年数⁴⁵は表 6.6 を参考とする。

表 6.6 算定に用いる設備の法定耐用年数

	法定耐用年数
開閉所等の機械設備	22年
送電線	36年

資料：東京都主税局 Web サイト⁴⁵と電力系統利用協議会連系線整備計画に係る委員会（2013）⁵⁸）を基に筆者作成

開閉所と送電線における概算工事費を決定する。開閉所の概算工事費については、250 億円と設定する⁴⁶。送電線については、500kV 送電線の 1km 当たりの単価である 7 億 4600 万円/km を用いて算定する⁴⁷。また、MC については、表 6.7 を参考にする。

表 6.7 運転維持費用（MC）の参考値

	運転維持費用
開閉所等の機械設備	建設コストの2.5%
送電線	建設コストの1.4%

資料：電力系統利用協議会連系線整備計画に係る委員会（2013）⁵⁸）を基に筆者作成

⁴⁵ 開閉所等の機械設備の耐用年数は、東京都主税局の Web サイトに掲載されている、別表第 2「減価償却資産の耐用年数表」における電気業用設備、送電又は電気業溶変電若しくは配電設備、その他における耐用年数を用いた。（http://www.tax.metro.tokyo.jp/shisan/info/taiyo_nensu.htm, 2014 年 11 月 27 日確認）

⁴⁶ 開閉所の建設コストに関する公表データは存在しないため、電力会社に問い合わせたところ、1箇所当たりのコストは土地の買収等によって変化するので、一般的なコストを出すことはできないが、約 200 億円から 300 億円の間に目安となっているとの回答を得たため、その平均の 250 億円を用いた。

⁴⁷ 有限責任監査法人トーマツ（2012）による「送電線工事費用と期間に関する考察」における電圧別、架空送電線単価の分布から 500 k V 送電線の単価の中央値を用いる。（http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/chiikikanrenkeise/c/003_s01_00.pdf, 2014 年 11 月 27 日確認）

以上より，算定された建設コスト（年経費）を表 6.8 にまとめる．

表 6.8 関ヶ原北近江線の建設コスト（年経費）

初期投資に係る年経費		運転維持費用		合計
送電線	開閉所	送電線	開閉所	
1億4千万円/年	31億4千万円/年	4千万円/年	12億5千万円/年	45億7千万円/年

ここで，2ヶ月間の経費とするために，年経費の12分の2として算出すると7.6億円である．

次に，南海トラフ巨大地震の発生周期を決定する．南海トラフで発生する地震の発生頻度は90～150周期であるが，南海トラフ巨大地震で想定している規模の地震の発生確率は不確実性が高い．そこで本研究では，次に発生する南海トラフ地震が，南海トラフ巨大地震の規模であると仮定した評価を行うこととする．1946年に南海地震が発生してから，現在まで約70年経過していることから，次の南海トラフ地震は80年以内に発生する確率が高いといえる．そこで，80年後に発生すると仮定して経済被害軽減額としての便益を算定するため，対策による経済被害軽減額に対して480（80×12/2）で除した値を2ヶ月当たりの経済被害軽減額とする．それぞれの対策における2ヶ月間のコストと経済被害軽減額を比較した費用便益比を表6.9に示す．ちなみに，経済被害軽減額としては，1次波及効果の最小値から3次波及効果の最大値として設定した．

表 6.9 東西連系線と中部関西間連系線の増強における費用便益比

	東西連系容量の増強		中部関西間連系容量の増強(+供給力増強)		①+③
	① 210万kW	② 300万kW	③ 東西連系容量が210万kWのケース	④ 東西連系容量が300万kWのケース	
建設コスト (円/2ヶ月)	15.6億	30.6億	7.6億		23.2億
経済被害軽減額 (円/2ヶ月)	12.2億～58.3億円	21.8億～100.9億	10.5億～99.4億	0.8億～79.6億	22.7億～157.7億
費用便益比	0.8～3.7	0.7～3.3	1.4～13.1	0.1～10.4	1.0～6.8

東西連系容量を 210 万 kW に増強した場合における費用便益比は 0.6~4 であり、300 万 kW では 0.7~3.4 である。そのため、南海トラフ巨大地震が発生した場合において、その経済被害軽減効果としては大きいものが得られることが分かる。

次に、中部関西間連系線の増強対策は、東西連系容量が 210 万 kW までしか増強されなかった場合には、1.4~13.7 というかなりの増強メリットが得られる可能性がある。また、東西連系容量が 300 万 kW の場合においては、0.1~11.0 と幅のある結果となり、電力供給制約が緩いシナリオにおいてはあまり費用対効果がないものの、厳しいシナリオであれば大きな費用対効果が得られる結果となった。

以上の結果を用いると、政策的に東西連系容量を 300 万 kW にまで実施するか、あるいは 210 万 kW で留めておき、かつ中部関西間連系線を増強することで大規模電源停止リスクによる安定供給性を図るかかどうかという判断に適用することが可能であると考えられる。今回の結果からは、東西連系容量を 300 万 kW に増強する対策（②のみのケース）よりも、東西連系容量を 210 万 kW までの増強に加えて中部関西間連系容量の増強をした場合（①+③のケース）の方が、期待経済被害軽減額に加えて費用対効果も大きいということを読み取ることができる。ただし、中部関西間連系容量の増強対策の費用便益分析において、供給力の増強に関するコストを含めていない。関西の若狭湾に立地している原子力発電所が再稼動した場合にはコストはゼロとして今回の手法によって計算してもよいが、供給力の増強として火力発電所の新規建設等を想定する場合には、別途コストの設定が必要となると考えられる。その場合には、今回の推計よりもいくらか費用便益比が低下することが予想される。その場合、②のケースのみの方が①+③のケースよりも、費用便益比が高いという結果になるかもしれない。この点についてどのように対処すべきかについては、今後の原子力発電所の再稼動状況を見ながら、政策判断あるいは電力会社の経営判断にゆだねられる。

今回の評価においては、南海トラフ巨大地震が発生した場合の費用便益比の評価のみを行っているが、実際に意思決定を行う場合には、設備投資に係る平常時の運用メリットが問われる。その際の、付加価値として今回評価した南海

トラフ巨大地震が発生した場合における費用便益比を踏まえた判断基準を加えることはできると考えられる。これによって、経済性と安定供給性の両面を踏まえた評価として、より充実した意思決定の可能性が高まると考えられる。

6.3 地域間電力融通の調整による効果

これまでの評価において地域間電力融通の配分の前提として、複数の電力不足地域が生じた場合の電力融通配分は需給ギャップ比を地域間で均等になるように配分する設定としてきた。この配分方法を変更することによる経済被害額への影響を分析する。配分方法の変更によって経済被害額が軽減される可能性が高いのは、自動車産業のような重要産業が多数集積している中部に優先的に電力を融通した場合等が考えられる。そこで、他電力会社からの電力融通可能量は、まず優先的に中部に向けて融通することとし、中部への融通量が限界（需給ギャップの解消、送電線の運用容量の限界を含む）になった場合には、その他の電力不足地域に均等（需給ギャップ比を地域間で均等にする）に融通するという規則を設けたケースを設定する。ここで、現状では中部に向けた地域間連系線の容量の制約が大きいため、東西連系容量が 210 万 kW に増強され、かつ中部関西間連系容量を増強した（関ヶ原北近江線の建設）場合の中での比較評価とする。ここでは、関ヶ原北近江線の建設に加えた供給力の増強は含めていない。以上の設定における均等配分ケースと中部優先ケースの被害率の設定を表 6.10 にまとめる。

配分の割合を中部に優先したために、中部の被害率は減少し、近畿と四国においては均等ケースでは配分された分が中部優先ケースでは配分されなくなったために、被害率が増加することとなる。

電力融通を中部に優先的に行った場合において、均等配分を行ったケースと比較した経済被害の増減額を図 6.2 に示す。

表 6.10 均等配分ケースと中部優先ケースにおける被害率

	d _c	
東西連系容量	210万kW	
中部関西間連系容量	増強後	
電力融通配分	均等	中部優先
電力供給制約	厳しい	
北海道	0	0
東北	0	0
関東	0.034	0.030
中部	0.232	0.202
近畿	0.177	0.186
中国	0.098	0.098
四国	0.254	0.278
九州	0.007	0.007
沖縄	0	0

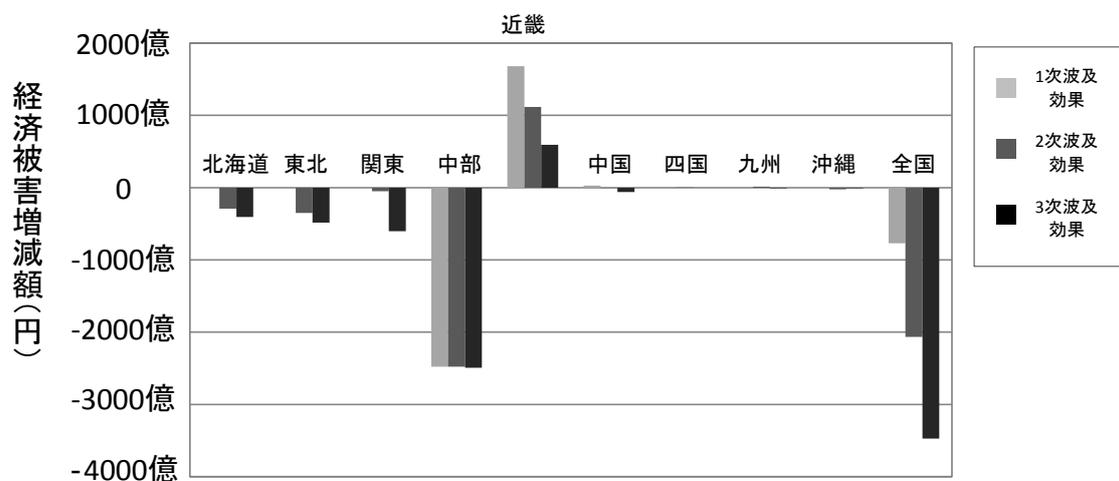


図 6.2 中部優先ケースにおける均等配分ケースと比較した経済被害額の増減

中部に優先的に電力を融通した場合、当然、中部での生産減少額が顕著に抑制される。そして、中部に優先したために均衡配分ケースでは融通された近畿等においては逆に生産減少額が増加してしまう。しかし、近畿においても、波及が進むに従って、経済被害額は減少していくことが分かる。これは、中部の経済被害が抑制されるということが近畿の経済被害の抑制にもつながる相乗効果が機能しているということが示される。四国においても近畿と同様に、均等

配分であれば融通された電力量を中部優先の場合には中部に振り向けているにもかかわらず、電力供給制約による経済被害額はほとんど変わらない。それは、四国では電力以外の産業の被害率が高いために電力の融通よりも産業の復旧の方が重要であるということが表れているといえる。その他、北海道や東北、関東においても、段階的に経済被害が軽減されることが分かる。そして、全国の経済被害の合計においても経済被害額が軽減される。その軽減効果は約 800 億～3500 億円である。今回のケースは配分方法を変更しただけであり、対策に係るコストはゼロである。すなわち、南海トラフ巨大地震後に複数の地域で電力供給制約が生じた場合において、中部地域への電力の融通を優先することは全国的な経済被害につながるということが示された。

ここで、中部への電力融通の優先が経済被害軽減につながった要因について分析する。中部電力と関西電力において、それぞれ 500 万 kW 制約された場合の経済被害額を比較する。ここでは、電力以外の被害はないものとして、中部と近畿において電力が 500 万 kW 制約された場合を算出した。

表 6.11 中部と近畿における電力供給制約による経済被害額への影響

波及効果	中部500万kW制約 (百万円)			近畿500万kW制約 (百万円)			中部/近畿		
	1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次
北海道	1,762	513,571	700,576	1,611	330,125	472,958	1.094	1.556	1.481
東北	16,962	662,607	972,859	900	439,588	686,174	18.839	1.507	1.418
関東	1,591,098	3,078,949	4,697,700	320,888	3,365,196	5,240,676	4.958	0.915	0.896
中部	3,897,766	3,911,479	3,965,367	126,117	917,514	1,534,677	30.906	4.263	2.584
近畿	590,950	1,983,107	2,785,551	4,672,646	4,691,335	4,800,982	0.126	0.423	0.580
中国	5,297	384,367	701,738	13,700	535,134	871,276	0.387	0.718	0.805
四国	640	361,415	513,281	1,998	269,865	384,840	0.320	1.339	1.334
九州	2,581	736,018	1,141,620	4,365	687,660	1,037,640	0.591	1.070	1.100
沖縄	87	70,008	102,959	124	72,250	100,091	0.705	0.969	1.029
合計	6,107,143	11,701,520	15,581,652	5,142,350	11,308,668	15,129,315	1.188	1.035	1.030

表 6.11 より、中部の電力供給制約による経済被害の影響は、北海道や東北、関東など東日本に大きく影響し、近畿の電力供給制約は中国、四国、九州、沖縄といった西日本へ大きく影響しているという特徴があることが分かる。全国の合計においては、中部における電力供給制約の方が近畿よりもやや経済被害

が大きいということが分かる。すなわち、電力1単位当たりの経済被害は中部の方が大きいということである。また、南海トラフ巨大地震では東日本にほとんど被害はないため、東日本への経済被害の影響が大きい中部における電力供給制約は、全国的な経済被害の増加につながっていることも考えられる。すなわち、複数の地域に大規模な電力供給制約が生じた場合、その電力融通の配分量は、その割合に応じて全国的な経済的影響が変わるということである。

ただし、今回の分析においては、複数の地域に電力供給制約が生じた場合に、経済被害を最小限に抑えるための最適なパターンを見出すまでには至らなかった。また、実際には、電力供給制約が生じている地域において、どのような産業がいつ復旧しているかという生産可能な産業の種類と生産可能となる時期が、経済被害の波及効果の要因を分析する上で重要になってくると考えられる。しかしながら本推計方法では、電力以外の産業は被害率を一定としていることや、被害が甚大な地域とそうでない地域を1つにした地域区分となっており、詳細な産業被害の波及効果を表しているとはいえない可能性がある。そのため、詳細に電力供給制約による経済被害の波及効果を分析できる手法の開発が必要となる。

6.4 政策的インプリケーション

6.4.1 費用負担のあり方を踏まえた対策効果の評価

ここまで、南海トラフ巨大地震が発生した場合には、複数の地域において電力供給制約が生じ、特に中部では地域間連系線の容量の制約によって十分な電力を供給できない可能性があることを指摘してきた。そして、中部地域に向けた地域間連系線の増強対策を実施した場合の費用便益評価を行った結果、南海トラフ巨大地震による電力供給制約リスクの軽減効果は大きいものであることを明らかにした。しかしながら、低頻度巨大災害対策として有効であるからといって、平常時のメリットを考慮せずに、実際に対策の意思決定はされないだろう。

日本では、福島第一原子力発電所事故以降、新たな原子力発電所の建設や原

子力発電所の再稼働に対して社会的に抵抗も大きく、複雑な状況となっている。今後、敦賀原子力発電所の3, 4号機の建設計画が止まったままであると、関ヶ原北近江線の建設が実現しないまま南海トラフ地震を迎える可能性もある。地域間連系線の容量を増強するには、供給力の増強とセットで考えて平常時の運用メリットを考慮する必要がある。さらに南海トラフ地震においても、被災しない地域における供給力を確保しないと、地域間融通が可能な電力量が制約となり、送電線の容量増強の効果が発揮されない。そのため、南海トラフ巨大地震の規模でも被害がほとんどないと想定される若狭湾沿岸域に火力発電所を新規に建設し、平常時から中部に向けた電力融通の取引を行うようなシステムを構築することは、平常時の運用と災害時の被害軽減の両面を考慮した対策として考えられる。今日、老朽化により設備更新の時期に差し掛かる発電所も増えている。これを契機として、南海トラフ巨大地震による電源停止リスクの高い伊勢湾に集中している火力発電所を縮小し、新たに若狭湾における電源を拡張することで電源の立地分散を図ることは1つの選択肢であると考えられる。

しかしながら、ここで課題となるのが、新たに若狭湾に発電所を建設し運用するコストとこれまでと同様に伊勢湾に建設し運用するコストとの経済性の違いである。経済性のみを考えれば、そのまま伊勢湾に火力発電所の建て替えを行い、運用する方が合理的であるだろう。それは、伊勢湾では燃料調達に必要となる港湾も既に整備され、燃料を供給するパイプラインも発達しており、さらに電力の大消費地が近いため、火力発電所は従来通り伊勢湾に立地している方が経済的メリットは大きいと考えられるからである。これらの経済性と安定供給性を考慮した意思決定を行う上では、新たに若狭湾に火力発電所を新規に建設するコストと運用コストの合計と、従来通りの伊勢湾に火力発電所を建替えるコストと運用コストの合計の差分を、費用に加えて評価する必要があるだろう。このように、災害発生時の便益を考慮した費用対効果の評価手法を改善していく必要がある。

一方で、評価手法が改善したとしても、民間事業者の費用負担のみでは、平常時の短期的経済性と低頻度巨大災害を考慮した長期的安定供給性の両面を踏まえた対策を個別の事業者のみで実行することは難しいかもしれない。そのため、南海トラフ巨大地震にも有効となる対策をより詳細に検討し、かつ実行に

移していくためには、対策に係る費用負担のあり方を検討する必要がある。日本では、地域間連系線の増強に係る費用負担に関して、受益者負担が原則であり、国による関与はしないというのが基本である。本評価においては、現在計画が進められている東西連系線の増強に加え、中部関西間連系線の増強をすることによる経済被害軽減効果を考えた。東西連系容量の増強に係る費用負担に関しては、沖縄を除いた9エリア⁴⁸がすべて受益を受けるため、9エリアのネットワーク全利用者が託送料金により負担することとしている⁵⁸。一方、中部関西連系容量の増強に係る費用については、平常時のメリットを考えれば中部と関西のエリアだけが受益者となる。しかしながら、南海トラフ巨大地震の発生を想定すると、中部関西間連系容量が増強した場合には、全国の経済被害が軽減されるため、公的な便益が生じることとなる。この点を考慮すると、南海トラフ巨大地震対策の観点から、中部関西間連系容量の増強と供給力の増強を電力会社に実施させるために、国による公的融資や経済的なインセンティブを付与するなどの補助を実施することについては合理性があるといえる。

例えば、欧州では、送電設備構築に関して既に公的融資の枠組みがあり、英国では、送電設備の防災や災害レジリエンス⁴⁹構築のために必要となる投資に係る費用を託送料金に反映させる仕組みが存在している⁵⁹。米国では、政策目的に適合する送電投資に報酬率や加速的減価償却費を通じたインセンティブを付与する等がされている⁵⁸。このように欧米諸国で、電力インフラの設備投資に係る費用負担の制度が充実している背景として、国と重要インフラ⁵⁰を提供する民間事業者との連携の枠組みが存在していることが挙げられる。これは、重要インフラの継続を維持するための国家としてのリスクマネジメント体制の枠組みである。米国に関していえば、1998年にサイバーセキュリティの防護を目的とした計画から始まったが、その後2001年9月11日の米国同時多発テロ

⁴⁸ 北海道，東北，東京，中部，北陸，関西，中国，四国，九州を指す。

⁴⁹ レジリエンスの定義は多様な分野において提唱されているが、National Academies (2012) では、「実際または潜在的に不都合な事象に対する準備や計画，対処，回復，またはより効果的に適応する能力」⁶²と定義している。

⁵⁰ 米国国土安全保障省によると、重要インフラとは、国家の経済，安全，繁栄にとって重要な要素であり、国にとって不可欠な物やサービスを提供するための物理的，または仮想的な資産やシステム，ネットワークと定義している。
(<https://www.dhs.gov/what-critical-infrastructure>, 2014年11月27日確認)

や 2005 年のハリケーン・カトリーナの発生によって、現在では対象とするハザードがサイバー攻撃，テロ，自然災害，感染症パンデミック等，オールハザードが原則となっている⁶⁰⁾。この枠組みの基本的考え方としては，重要インフラを運用する民間事業者は，供給責任を強く持つてはいるものの，すべてのハザードからインフラを防護することに対して十分なものではないため，政府が主導して防護やレジリエンスを強化するための取組を図るべきであるということにある⁶¹⁾。すなわち，民間事業者という特性を踏まえて，国が安定供給性の追求という面をサポートするために，多岐に渡るハザードに対する脆弱性やリスクの評価，対策の優先順位の決定，プログラムの実施等を含めた計画⁵¹⁾を策定しているのである。

日本は欧米諸国と電力システムが異なるため，同じ土俵で比較することはできないが，電力会社の努力のみによって巨大災害に対する安定供給性を追求することに大きな制約があるという考え方については，欧米諸国と同様であると考えられる。ただし，日本においても，大規模災害に対しては，経済産業省が主導して，ワーキンググループ等を設置し，対策の方向性を決めている。一方で，日本においても発送電分離のように電力システム改革について，政府で議論されている⁵²⁾。ここで，その目的とされる電力システムの広域運用の拡大については，巨大災害時における安定供給を追求する上では，プラスの作用が働く可能性があるが，もう 1 つの目的である電気料金の抑制においては，競争の促進が前提となる。すると，低頻度巨大災害の被害軽減を想定した設備投資は，さらに困難になるとも考えられる。そのため，国レベルでの費用負担のあり方を含めた災害による被害軽減を考慮した費用対効果の評価手法の改善が必要であるといえる。

6.4.2 電力融通の地域間配分の考え方の整理

⁵¹⁾ 米国では，電力セクターの重要インフラ防護に関して，エネルギー省がパートナーとして，エネルギーセクター特別計画⁶³⁾を策定している。

⁵²⁾ 経済産業省では，電力システム改革として，広域運用の拡大，小売り，及び発電の全面自由化，法的分離の方式による送配電部門の中立性の一層の確保という 3 段階からなる改革の全体像が示されている。

(http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/system_reform.html，2014 年 11 月 27 日確認)

南海トラフ巨大地震後において、複数の地域に電力供給制約が生じた際に、電力の地域間配分の調整によっては、経済被害を軽減し得ることを明らかにした。その際、可能な限り社会経済被害への影響を最小化するという考えに立てば、中部のような電力供給制約による経済被害の波及影響の大きい地域に優先した電力融通を行うというオプションもあり得るといえる。ただし、実際に災害後にそのような状態に陥った際には、経済被害を軽減するためには、産業の復旧状況をよく見て配分することが必要になってくる。そのため、このオプションについては、発災直後から数週間という短期的に取る対策としてではなく、数ヶ月間というある程度被災した産業の活動が活発になりつつある時期において、重要産業の復旧状況を見ながら対応するためのオプションとして位置づけることができるといえる。ただ、経済被害の軽減を目的としても、いずれかの地域を優先し、他を排除するような対応は社会的に許容できるものではない可能性もある。このようなことが可能かどうかについては、時期と被災状況という部分において左右されると考えられ、この点については、社会全体での議論を深めていく必要がある事項であるといえる。

一方で、今回のケースは、非常に大きな電力供給制約が生じている四国についても電力融通を行わず中部を優先するという極端な状況を設定した。分析上では、経済被害額の軽減効果が見られないため、四国に電力融通をするよりも中部に融通をした方がよいというようにみえるが、最低限生活ができるレベルの電力量は当然ながら確保されるべきである。今回は、経済活動のみを考慮した評価となっており、家庭の生活レベルを考慮した評価を行うためには、家庭の被害量と生活に必要なレベルの電力量について、詳細に分析する必要があるといえる。

その他、南海トラフ巨大地震のような大規模災害時における電力供給制約下では、復旧活動への影響を最小化するという観点での地域間電力融通の判断材料も必要となると考えられる。当然、甚大な被害が発生した地域には、まず救援・救助、生活物資の提供、そして復旧支援活動といった外部からの支援が入ってくる。南海トラフ巨大地震では四国や中部では平常時の約3割という非常に厳しい電力需給ギャップが生じる可能性があるため、そういう外部からの支援が大量に入ってきた場合に、そのレベルの電力需給ギャップが耐えられ得る

ものなのかどうかを検討していく必要もある。

また、今回の評価においては、社会的重要な機関である医療機関や鉄道といった産業による特殊な社会経済的影響については考慮しないこととした。計画停電の除外対象となる可能性が高いとはいっても、平常時の約3割という電力需給ギャップが生じた場合には、社会的重要な機関においてもかなりの影響が生じると考えられる。このような機関における影響が社会的に許容できない範囲に陥らないための受給ギャップの割合等が事前に分かっていたら、それに応じた対応が可能となるといえる。

以上のような判断材料を踏まえて、社会経済被害を可能な限り抑制するために、最適な電力配分の実施を時期や状況別に判断ができるよう、事前に想定しておくことは防災・減災政策上必要な対策であるといえる。実際、災害後に大規模な電力供給制約が生じた後、早期の地域間電力融通の判断を可能とするために、被災状況や時期別に地域における必要な電力量の整理をしておく必要があるといえる。

参考文献

- 58) 電力系統利用協議会連系線整備計画に係る委員会（2013）「地域間連系線整備計画に係わる調整プロセス＜安定供給＞」東京中部間連系設備増強に係わる報告書.
- 59) House of Parliament (2010) Resilience of UK Infrastructure, POSTNOTE, No362.
- 60) John D. Moteff (2011) Critical Infrastructures: Background, Policy, and Implementation, Congressional Research Service.
- 61) National Infrastructure Advisory Council (2010) A Framework for Establishing Critical Infrastructure Resilience Goals, Final Report and Recommendations by the Council.
- 62) The National Academies (2012) Disaster Resilience – A National Imperative-, The National Academies Press.
- 63) United States Department of Energy (2010) Energy Sector-Specific Plan - An Annex to the National Infrastructure Protection Plan 2010-.

第7章 結論

低頻度巨大災害がたとえ発生したとしても可能な限り社会経済的被害を抑制するための対策は、社会的に大きな意義があるものの、短期的な経済合理性の追求が中心的関心事項となる現代社会においては、政策の意思決定や経営判断にその価値を十分に取り入れることが難しい。本研究では、この難題に挑戦すべく、電力セクターにおける南海トラフ巨大地震対策の意思決定の場に、災害発生時の社会経済的被害軽減という価値を取り入れた評価手法を提示することを目指し、いくつかの示唆を得ることができた。その示唆は以下の4点に集約できる。

第1に、南海トラフ巨大地震を対象として、それに伴う発電所被害に起因する電力供給制約を地域別に評価した結果、中部に向けた地域間連系線の容量がボトルネックとなり、供給力が著しく低下する中部に対して外部から十分な電力量を融通することができない可能性が高いことを指摘した。そのため、南海トラフ巨大地震を想定した電力供給制約の対策として、中部に向けた地域間連系線を増強する対策が有効となる可能性が高い。

第2に、産業連関分析を用いた推計手法を用いて、南海トラフ巨大地震による電力供給制約に起因する経済被害を抽出した結果、中部や近畿において電力供給制約に起因する経済被害の影響が大きく、四国においては電力以外の産業被害に起因する経済被害の影響が大きくなることが分かった。そのため、中部や近畿に対する電力供給制約による経済被害の影響を軽減するための対策が必要となるといえる。

第3に、中部関西間の地域間連系線の増強対策を提案し、その対策による期待経済被害軽減額と対策に係る費用を用いて費用便益分析を行った結果、対策の意思決定における、経済性と安定供給性を踏まえた評価の可能性を示した。ただし、対策の実施段階において、民間事業者のみでは課題が多いため、対策の検討・評価や費用負担において国による関与を強めていくべきであると提言した。

第4に、地域間電力融通の調整による経済被害軽減効果を評価した結果、中

部へ優先的に電力融通を行った場合、地域間の電力需給ギャップの割合を均等に
にする配分方法と比較して、全国の経済被害軽減の効果が大きいことが分かつた。
ただし、配分方法については多様な考え方が存在するため、南海トラフ巨
大地震が発生し、複数の地域で電力供給制約が生じた場合には、時期や被災状
況別に応じて、最適な電力配分を行えるように議論を深め、対策を進めていく
必要がある。

今後は、本研究で仮定したさまざまな前提条件が変わる可能性がある。例え
ば、原子力発電所の再稼働については、南海トラフ巨大地震後の電力供給力の
確保に大きく左右するものであるが、国内事情を踏まえるとその行方は不確実
である。また、再生可能エネルギーの普及等によっても今後大きく電力事情が
変わるだろう。そして、現在、発送電分離のように日本の電力システム改革が
政府で検討されている。以上のように、電力を取り巻く情勢の変化が、南海ト
ラフ巨大地震のような低頻度巨大災害における社会経済被害に対して負の影響
を与えないよう、時勢の変化を踏まえた評価が望まれる。そして、電力インフ
ラの被害に伴う経済被害を軽減するために、あらゆる計画の段階から防災を考
慮する「防災の主流化」が普及されていくことを期待し、本論文を結ぶことと
する。

謝 辞

本研究を結ぶにあたり、ご指導、ご支援、ご協力を頂いた多くの関係者の方々に対して、ここに感謝の意を示させていただく。

関西大学社会安全学部の指導教員である河田恵昭教授は、2010年の修士課程の入学から、防災・減災研究の重要性ややり甲斐を伝えてくださり、研究を進展させる上で大きな糧とさせていただいた。何よりも先生自身が防災・減災研究者の第一人者として活躍されている姿は、研究のモチベーションとなった。博士後期課程への進学の際にも、相談に乗ってくださり、研究者として必要な素質について説いて下さった。また、学会発表や査読論文に至る機会を作ってください、多くの経験を与えてくださった。ここに、深謝を申し上げる。

東北大学災害科学国際研究所の丸谷浩明教授には、査読論文の作成に至る作法、研究の進め方、論理の詰め方等、細かなご指導をいただいた。研究を進めて行く中で誤った道に進もうとしていた際には道を正して下さり、至らぬ点があった際には叱咤激励を頂戴した。また、企業の関係者を含めた事業継続に関する勉強会や企業へのヒアリング調査等を通じて、多くのことを学ばせていただいた。ここに深謝を申し上げる。

関西大学社会安全学部の永松伸吾准教授には、独立行政法人労働政策研究・研修機構の共同研究グループに誘ってくださり、そこでの研究活動の経験は、何ものにも代えがたい価値のあるものであった。そして、学会発表や国際会議での発表等、さまざまな経験を与えてくださった。ここに深謝を申し上げる。

関西電力株式会社の大槻博司氏、吉田正直氏、能勢真一氏、松田章志氏には、研究を進める上で必要となるデータの提供や、考え方についてのご相談をいただいた。ここに厚く御礼を申し上げる。

最後に、関西大学社会安全研究科河田研究室の諸兄には、惜しめないご支援、ご協力を頂き、共に研究を進める上で大きな励みとなった。また、両親には、博士課程への進学を許していただき、心温かく研究活動を見守ってくださった。ここに厚く感謝を申し上げる。