

[論文]

スマートグリッドによる産業戦略

—電力の安定的供給システムの構築—

高橋 律

- 〈目次〉
- はじめに
 - エネルギーシステムの転換
 - 電力の安定的供給と異種混合学習技術
 - おわりに

1. はじめに

我が国では2013年、消費者物価上昇率2%、名目経済成長率3%以上という目標を掲げて、いわゆる異次元の金融緩和が始まった。しかし、2015年2月の消費者物価上昇率は消費税の増税の影響分を除くと0%であり、むしろデフレ経済に逆戻りしかけている¹⁾。同月の家計消費を見ると11か月連続マイナスである。自動車販売台数²⁾も住宅の新規着工数も12か月連続マイナスで、最近の世論調査でも景気回復の実感がないという回答が75%を占めている。また、格差の拡大も進んでいる。株価が1万9千円を超える一方で2015年1月の生活保護世帯は162万世帯である。受給者数で言うと217万人と過去最高になっている。

一方で全国の1,741の市区町村の納税者一人あたりの年間平均所得をとってみて計算すると2013年以降に地域間の所得格差が拡大している³⁾。株高、不動産高の恩恵が大都市の一部自治体に集中していることが影響している。2015年3月末の大手企業の決算を見ると史上最高を記録しているが、その利益がしたり落ちてくるいわゆるトリクルダウンは起きていない。2014年度を見ると株主配当が9兆4千600億円、自社株買いが3兆3千600億円で、株主に向かって還元される額が12兆8千億円になっている。

他方で実質賃金は22か月連続マイナスで、金融資本主義の下ではトリクルダウンは起きていない。利益は賃金に回さず、株主に回すということになっている。それが格差の拡大につながっている。株高の背景としては、GPIF（Government Pension Investment Fund：年金積立金管理運用独立行政法人）の株主購入が大きく影響し、2014年末時点でGPIFが持っている株は27.4兆円あり、3つの共済年金も3.6兆円で30兆円を超えている。2014年の10月末以降、株式購入を増大させる方針が出された。日銀も2013年以降、ETF⁴⁾という証券取引所に上場し、

株価指数などに代表される指標への連動を目指す投資信託を累計で2兆8千800億円余り購入している。政府や日銀が介入して株価を吊り上げる、いわゆる官制相場になっている。

多額の年金積立金の株式運用は、異次元の金融緩和の失敗と深い関係がある。異常な長期金利の抑制が長く続くと、130兆円余りの年金積立金の運用益が上がらず、年金財政は悪化する。実際に10年物の国債の利回りは2015年では0.3%から0.4%の低さであった。そこで株式運用を増やすことによって5%以上の運用益と合わせて帳尻合わせをした。もう一つの要因は円安である。金融緩和に円安がもたらす影響は、日本株に投資する外国人投資家にとっては株安になってしまう。円安に見合った分以上に株価を上昇させないと、外国人投資家が逃げたしまい、株価が暴落してしまう。株価と内閣支持率が連動するため、選挙の時にこのような介入が激化している。GPIFの運用は合議制ではなく、理事長が決めることのできる不透明な運営という点で問題が多い。株価の上昇は永遠には続かないため、下落した場合は年金積立金の非常に大きな損失を招くことになるというリスクもある⁵⁾。すでに2年間でマネタリーベースを270兆円に倍増させる目標は達成された。ところが当初の目的としていた効果は得られていない。ゼロ金利状態が長く続いていて金利機能が麻痺している。国債市場も株式市場も官制相場になっているが、その失敗を認めない体質ゆえに同じ政策を続けてしまっている。

日銀の当座預金勘定の推移を見ると大量に供給した資金は市中には流れておらず、景気を支えるために財政出動を続けるしかなくなっている。実際、3兆円の補正予算に加えて2015年度予算では96.3兆円で史上最大規模になっていた。財政赤字を支えていくための金融緩和、すなわち赤字国債を買い支える政策になっている。このまま日銀が長期国債を買い続けると、日銀が最大の国債保有者になってしまう。日銀の国債保有高は2013年3月時

1) 総務省統計局、<http://www.stat.go.jp/data/cpi/sokuhou/tsuki/index-z.htm>、〈平成27年11月3日検索〉、引用・編集

2) 一般社団法人日本自動車販売協会連合会、<http://www.jada.or.jp/contents/data/hanbai/brand02.html>、〈平成27年11月3日検索〉

3) 毎日新聞社、<http://mainichi.jp/shimen/news/20150417ddm001020172000c.html>、〈平成27年11月7日検索〉、引用・編集

4) ETFとは、証券取引所に上場し、株価指数などに代表される指標への連動を目指す投資信託で、Exchange Traded Fundsの頭文字をとりETFと呼ばれている。

5) 公的年金を運用する年金積立金管理運用独立行政法人（GPIF）は、2015年7～9月期の運用損益が7兆8899億円の赤字に転落したと発表した。赤字は6四半期ぶりで、四半期の赤字額としては過去最大となった。【時事ドットコム2015/11/30付記事】<http://www.jiji.com/jc/zc?k=201511/2015113000613&g=eco> 〈平成28年1月11日検索〉

点では125兆円であったが、2014年3月に198兆円、2015年3月で266兆円となり倍以上に増加しており、早晚300兆円を超える保有高となる⁶⁾。

財政規律が大きく損なわれ、政府が日銀に国債の利払い費を払うと同時に、その分を日銀から日銀納付金として納めさせてしまえば、政府は利払い費を払わずに、また国内の貯蓄の制約を受けずに国債を発行し続けることができる。日銀が国債買い入れをやめるとたちまち国債価格が下落して、逆に長期金利が上昇してしまう。長期金利が上昇すれば、政府にとっては国債費を膨張させるし、民間にとっては設備投資や住宅投資などを抑制してしまう。結局、日銀は国債を永遠に買い続けなければならないになってしまう。これらの政策は、資本への国家的企業投資を金融緩和によって遠回しに行うことで、かつての公共事業政策重視によって乗数効果を狙う考え方に酷似している。しかしながら、そのようなケインズ経済学を基礎とした政策が限界を迎えたことは周知の通りである。したがって、このような財政金融政策を続けると日本経済の体力は弱り、やがては破綻に向かわざるを得ない。

歴史に学ぶならば、経済を刺激する要素として重視すべきは、新たな産業のイノベーションに他ならない。換言すれば、世界的に進む再生可能エネルギー、ICT（情報通信技術）と結び付いた省エネルギーの動きに基づく「地域分散ネットワーク型」システムへの転換から、エネルギー転換を突破口とする、地域に新しい雇用を生むような産業戦略が何よりも求められている。そこで、本論文ではスマートグリッドにおいて再生可能エネルギーの利活用を抑制している諸要因、とりわけ再生可能エネルギーの安定的供給システムの構築について考察し、その課題を解明することにする。

2. エネルギーシステムの転換

福島第一原発事故を引き起こした東京電力に対しては、2015年においても小出しに公的資金が注入され、利用者の電気料金負担で生き残らせようとする政策がとられた。事実、東京電力は、1兆円の公的資金を受け、電気料金を値上げし、2年間で原子力損害賠償機構から3.2兆円の交付金を受けているにもかかわらず、2013年1月25日段階で支払った賠償額は約1.7兆円にすぎず、除染費用も計上していない⁷⁾。

これまで進められてきた原発政策の責任も東京電力や電力会社の経営責任を問うこともなく、発送電を分離する電力改革を先送りし、ずるずると原発を再稼働させている。これでは、世界的に進む再生可能エネルギー、ICTと結び付いた省エネの動きに基づくスマートグリッドへの転換から遅れをとっている。

我が国のベースロード電源、換言するならば一定量の電力を安定的に低コストで供給できる電源としては、原子力発電、石炭火力発電、水力発電、地熱発電などが指定されている。このベースロード電源の比率は、2030年、2040年と先進主要国では低減させる動向にある。欧州、米国ともに「ベースロード電源」比率は1990年以降低減しており、英国、フランス、ドイツもそれぞれ1990年から2013年に87%から58%、96%から90%、89%から65%に低減している⁸⁾。

欧州、米国、そして中国も、2030年、2040年と電源自給率の向上と安定供給、そして、温暖化防止をはじめとする環境性の観点から、天然ガスと、太陽光、風力を含むその他の再生可能エネルギーを拡大することによって、「ベースロード電源」比率を低減させる方向にある。また、これらの国々において天然ガスや太陽光・風力などの再生可能エネルギーがベースロードを担う役割を果たし、変動電源の拡大を前提とし、それを系統的に安定的に取り込むダイナミックな電力システムの構築がめざさ

6) 【2015年5月7日ロイター】日銀が7日発表した市中の現金と金融機関の手元資金を示す日銀当座預金残高の合計であるマネタリーベース（資金供給量）の4月末の残高は305兆8,771億円となり、9カ月連続で過去最高を更新し、初めて300兆円の大台を突破した。

7) 【NHKニュース、2015年7月31日】、http://www3.nhk.or.jp/news/genpatsu-fukushima/20120731/1400_touden.html、〈平成27年11月23日検索〉、引用・編集

8) 【nippon.com、2015年6月26日】<http://www.nippon.com/ja/features/h00114/>、〈平成27年11月23日検索〉、引用・編集

9) PRESIDENT Online、<http://president.jp/articles/-/13989>、〈平成27年11月7日検索〉、引用・編集

れている。

2014年9月、九州電力が再生可能エネルギーの買取りの中断を検討した⁹⁾。これを契機に、九州電力以外で多くの電力会社が、太陽光発電の設置や売電申請を保留もしくは中止するという発表が相次いだ。太陽光発電について設備設置や売電申請を中断する発表をした電力会社は、北海道電力、東北電力、関西電力、四国電力、九州電力、沖縄電力と6社にも上る。そもそも「買取りの中断」とは、現在まだ電力会社の送電網に接続して発電を始めていない発電設備について、新規の買取り契約を結ぶことを中断するということである。

法律上、電力会社は設備に問題が生じない限りは申し込まれた売電の契約を受け入れる義務がある。そのため、一時的に新たな買取り契約ができないという意味で「中断」という表現が用いられている。しかし、すでに固定価格制度の適用を受けて、電力会社と契約して売電を始めている設備からの「電気の買取り」が中断されるわけではない。買取り契約が中断されることについて事業者側ならびに電力会社の視点で問題を整理する。

売電する側は、計画した発電量で毎年電気を売ることが前提に資金の計画を立てているため、売電を開始できる時期が不明瞭になってしまったり、売電できるのかどうかわからなかったり、という事態は極力回避したい。とくに、買取り中断の対象となる10kW以上（全量買取り）の設備は、住宅に設置する場合も平均的な設備の倍の規模になる。工場などの大型施設の屋根や、土地に直接設置する太陽光発電所など大規模なものは、発電・売電事業として大きな投資が伴う。

一方、電力会社側にとっては品質の高い電力を安定供給するために、支障が生じることに問題がある。太陽光発電は、天候や気温に左右され発電量に不安定な要素はあるが、買取り中断の本質的な問題は、生産と消費が瞬時にほぼ同時に行なわれるため、電力の安定を維持するためには変動する消費量にあわせて、発電量を一致させ続ける必要がある点である。これは「同時同量」問題と呼ばれている。電気は消費量に対して多すぎても少なすぎても不安定になってしまうため、必要とされている量を上回る電気は送電網に流せないという問題がある。

必要以上に大規模な太陽光発電事業者が増加し、消費を発電量が上回ると、従来の枠組みでは同時同量が実現できず、電力の安定供給に支障をきたす可能性が高いということが電力会社にとっての問題である。電気は、効率的な蓄電を行うことが難しく、流動的に変化する需要量に合わせ、供給量（発電量）を一致させ続ける必要がある。

実態としては、電力会社の操作担当者が、需要予測に応じてどの発電所を稼働させ、どの発電所を待機させるかなどの発電計画を定め、当日の需要変化を見ながら発電所を運転させたり停止させたりして、出力を細かく調整し同時同量を達成する。現在、系統全体の周波数を一定の範囲に収まるように発電所出力を調整することで、結果として同時同量が実現されている。

地域の電力会社が瞬時単位の同時同量を行う一方で、新電力が行うのは「30分同時同量」である。電気事業法により、電力会社と比較して扱う電氣量が少ない新電力は、瞬時に同時同量を達成することが技術的に困難なため、30分単位の電氣量を一致させるルールとなっている。しかし、30分単位といえども新電力が同時同量を完全に達成するのは難しく、通常はある程度の超過や不足が生じる。この場合、地域の電力会社が不足分を補給したり超過分を吸収したりする。新電力が不足を生じたときに電力会社が損害補てん的に請求するのが「インバランス料金」である¹⁰⁾。

3. 電力の安定的供給と異種混合学習技術

近年のビジネスでは、ビッグデータを分析することにより、頻出するパターンや隠れた規則性を自動的に発見し、価値ある情報として有効活用することがある。このような技術をデータマイニングと呼ぶ。

例えば、電力需要の予測のために、気温などの各種センサーデータの値と電力需要量の動きの間の規則性を抽出し、随時、その規則からその後の需要量を導出するといったことなどが行われている。2012年には、家庭の電力使用状況などを把握し、家電の電力消費を最適に制御する機器が発売されている。これによって、エアコンの温

10) 日経BP社、<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/WORD/20121114/251072/?rt=nocnt>、〈平成27年11月7日検索〉、引用・編集

11) 日本経済新聞電子版、2012年9月11日付記事、http://www.nikkei.com/article/DGXNASDD110BP_R10C12A9TJ1000/〈平成28年1月11日検索〉より引用・編集

度を自動変更してエネルギー使用量を減らしたり、使用電力のピークを見極めてクッキングヒーターに使える電力を配分したりできる¹²⁾。

分電盤やガスメーターとつないでエネルギー使用量を計測し、エアコンなどを自動制御する。専用モニターのほか、スマートフォンでも電力の使用状況を確認し、操作できる。インターネット経由でソフトウェアを更新し、電気料金に変更された場合や、新たに発売する家電にも対応する。このようなビッグデータ分析では、その規模が大きく、収集や蓄積されている中に、異なる規則性に従っているデータが混在してしまっているケースがある。これをデータの異種混合性という。複雑な異種混合データでは、単にデータに複数のパターンや規則性が存在するだけでなく、その性質が大きく異なるという特徴がある。

電力需要では、何らかの要因でセンサ値と電力需要の関係性が切り替わっているのに、従来の分析技術ではパターンがうまく捉えられずに、予測精度が低下するという問題があった。その対処方法としては、エキスパートシステムの手法から規則性が切り替わる要因を専門知識に基づいて試行錯誤し、その単位にデータを分割して別々にそれぞれ単一規則を自動抽出するということが多く行われていた。しかし、適切に要因想定を行うことは非常に難しく、データ分割が不十分で異種混合性が解消できない、あるいは、データ分割が過剰でパターンが断片化するといった問題が生じていた。

日本電気株式会社情報・ナレッジ研究所は2012年、ビッグデータの解析に役立つ「異種混合学習技術」を開発した。この異種混合データ分析は、「因子化漸近ベイズ推論」という高度な機械学習技術を応用したものである¹²⁾。データ分割候補の可能性数が膨大であるため網羅的な探索をすることがこれまで現実的には不可能とされていた分析がこの技術によって可能となった。異種混合データを分析するために重要な点は、同一のパターンや規則性を持つグループごとにデータを分割し、内在する異種混合性を解消することである。しかし、データ分割の仕方には膨大な候補があり、これらを網羅的に検証していく

ことは現実的には不可能である。データを複数のグループに分割する尺度としては以下の3つがある。すなわち、①グループの数、②各グループの分け方、③各グループの性質に応じた適切な予測モデルの3つの尺度がある。

これらの論点は、独立して、あるいはグループの数から各部ループの性質へ順番に決定できるものではなく、相互の依存関係を考慮して同時に決定する必要がある。例えば、データに非線形な関係性と線形な関係性が混在しているのではないかと想定に対しては、データを2つのグループへ分けることで精度の良い予測モデルを得ることができる。しかし、各グループの分け方は、(非)線形な予測モデルが適合するデータの集まりによって決まるため、グループの数や各グループの性質を無視して各グループの分け方を決めることはできない。

そこで、グループの数から各部ループの性質への論点を同時に考え、センサと電力需要の値を大量に蓄積したビッグデータを分析して、それらの間の隠れた規則性を見つけるケースを考える。従来はこの問題を解決するために、規則性が切り替わる要因を専門知識などに基づいて試行錯誤で想定し、その単位にデータを分割して、グループごとに単一規則を自動抽出するということが多く行われていた。

しかし、複雑なシステムから取得されるデータに対して適切なデータ分割方法を発見することは容易なことではなく、不適切な分割によって予測精度が低下する、適切な分割方法を見つけるための試行錯誤に膨大な工数が必要となる、といった問題があった。

異種混合型データをマイニングするために、新たに開発された異種混合学習技術はグループの数から各部ループの性質への3つの論点を、データ分割や予測モデルの組み合わせ爆発の問題を回避して、高速に最適化することが可能である。異種混合学習では、分割数、分割方法、グループごとの予測モデルのグループの数から各部ループの性質への論点を同時に適応的に探索することで、無駄な候補を探索することなく予測精度が高いモデルだけを調べ、最適なデータ分割と予測モデルの発見をすることができる。

12) 日本電気株式会社情報ナレッジ研究所では、①予測式の数を決める問題、②各予測式に利用される説明変数の数と種類（組合せ）を決める問題、③データを分割するルール構造を決める問題、という3つの「モデル選択問題」を順番に繰り返し解く事で、因子化情報量基準を最大にするモデルを探索するアルゴリズムを開発し、因子化漸近ベイズ推論と命名した。www.fbi-award.jp/sentan/jusyou/2015/7.pdf、〈平成27年11月24日検索〉

異種混合学習の高度な探索・最適化の背後には、「因子化漸近ベイズ推論」という機械学習理論があり、以下のような性質が異種混合学習の根幹を支えている。

(1) 因子化情報量基準 (Factorized Information Criterion、FIC)：機械学習分野において複数のモードを持ったモデルは「非正則 (特異) モデル」と呼ばれ、従来の情報量基準¹³⁾では適切にデータ分割や予測モデルの良さを測ることができないことが知られている。異種混合学習では、因子化情報量基準という非正則モデルに対する独自の基準によって適切なデータ分割や予測モデルを選択する。

(2) 適応的探索アルゴリズム (Genetic Algorithm with Search Area Adaptation、GSA)：異種混合学習では、グループ数、分割方法、グループごとの予測モデルを適応的に変更しながら探索する。この探索の際に、特殊な探索手法を用いることで、変更後のモデルが因子化情報量基準の意味で、必ず前のモデルよりも良くなることを保証している。前のモデルより必ず良くなるモデルを適応的に選択することができるため、それよりも良くないモデルを探索する必要がなく、膨大な候補から高速にデータ分割と予測モデルを発見することができる¹⁴⁾。

(3) 調整パラメータ (属人的要素) の排除：多くの機械学習・データマイニングアルゴリズムには、分析者が手動で調整すべきパラメータが存在する。しかし、この調整はアルゴリズムに対する数理解の理解が必要となり、一般的には非常に高度なスキルを必要とする。異種混合学習では、従来必要だった調整パラメータを因子化漸近ベイズ理論によって決定する。これによって属人的要素を排除し、分析を自動化する。

(4) モデルの同定性：データ分割と予測モデルの候補中には、性能が極めて近いモデルが存在する。このような等価なモデルが存在する場合には、モデルをうまく学習することができないという問題が知られている。

異種混合学習は、このように等価なモデルが存在する状況において、モデルを一意に特定する「モデルの同定性」を有していることが理論的に示されている。異種混合モデルの効果を確認するために、ビルの電力需要予測を例に実証実験が行われた¹⁵⁾。近年の世界的な燃料価格の高騰を背景に、電力需要を正確に予測し、単純なピークカットのみではなく、よりインテリジェントな制御をすることで、エネルギーコスト削減に貢献することが可能と考えられる。

この技術を、例えばビルの電力需要の予測に活用した場合、外気温・曜日・時間帯などと電力消費量の関係が一定していないビルにおいても、収集したデータに混在する様々な規則性を発見して活用することで、高精度な予測を行うことができる。また、医療領域に活用した場合、日常生活において収集しているデータから異常パターンを発見することで、見つけることが難しい病気の早期発見に貢献することが期待できる。

本章ではビッグデータ分析の先端技術である異種混合学習技術によって、前章で述べたようなスマートグリッドにおける電力の流動的な需要量に合わせた供給量一致のシステムが、このような異種混合学習技術によって確立されつつあることを明確化した。

4. おわりに

ビッグデータ分析を基に判断や計画立案する場合、とりわけ、電力の将来予測を有効に活用するためには、予測結果に基づいた最適な戦略や計画を立案・実施することが重要である。これを行う際、人手による判断には規模や正確性に限界がある。また従来の技術では、多数の予測により誤差が累積し判断が不正確になることで予期せぬ大きな損失が発生していた。多数の予測式の関係性を考慮した膨大な組み合わせから最適な判断を導き出す

13) 従来の基準としてはベイズ情報量基準や赤池情報量基準などがある。

14) 簡略化したGSA (Genetic Algorithm with Search Area Adaptation) をグリッド環境上に実装した計算機実験から、並列数に対してほぼ比例した計算時間の短縮が可能であることを示唆する実験結果が得られている。『総論：進化型計算を適用するにあたって』、染谷博司著、電気学会誌 Vol. 132(2012) No. 4 P 204-207参照

15) 2013年、大林組とNECは29日、NECのビッグデータ分析技術「異種混合学習技術」を活用して、ビルのエネルギー需要を予測する実証実験を共同で実施したと発表した。その結果、ビルの「冬期営業日の昼間」「夜間」などで異なる規則性を自動的に発見し、将来の電力使用量・熱量を予測できた。http://cloud.watch.impress.co.jp/docs/news/20131029_621331.html (平成28年1月11日検索) インプレスコーポレーションより引用・編集

計算が膨大になるため、ソフトウェアでの実現が困難であったためである。

人間の神経構造を模したニューラルネットワークにおいては、人間のニューロンが学習によってシナプスの結合強度を変化させるように、コンピュータシステムが学習する過程で重みづけを変化させる。この変化によって、最適な値を出力するように調整することで、精度を高めていく。しかしながら、ニューラルネットワークを何層にも重ねる試みは、3層以上にすると精度が向上しないという問題を生じる。正解と予測とのズレから重み付けを修正していくが、ネットワークが深すぎて重み付け調整が届かなくなってしまう。

それに比して、前章で述べた異種混合学習技術では、ディープラーニングの自己符号化機を用いる。この自己符号化機では出力層と入力層のどちらにも学習させたいデータの正解例を読み込ませる。そして、学習させたいデータを表す特徴量として、より多くの情報を持っている特徴量を作り出す。次に、隠れ層を2つと比べてデータの数を敢えて小さくし、特徴量を徐々に圧縮していく。この特徴量を圧縮する技術が、ディープラーニングの特色である。

このようなディープラーニングの多層学習においては、圧縮された特徴量を持つ隠れ層は、次の層においてまた出力層及び入力層として用いられる。層と層の間にある隠れ層において特徴量は圧縮され、さらに数は少なくなるが学習させたいデータを正確に表現する特徴量が得られる。これを何回も重ねて行うことで、最終的に特徴量として最適なものだけが残る。従来のアルゴリズムが踏み込めなかった領域へと進化を遂げるためには、コンピュータに膨大なデータに関する特徴量を学習させ、未知データを分類させる。すなわち、アルゴリズムで特徴量の圧縮を行うという形でヒトと同じような学習が可能となった。

これを象徴するのが、Google社がコンピュータに猫を認識させた事例である¹⁶⁾。2012年、動画投稿サイトYouTubeの動画からランダムに選んだ大量の画像データをディープラーニングによってコンピュータに読み込ま

せ、猫の特徴量を示すネットワークを構築することができた。この実験は、「教師なし学習」、いわゆるデータから規則性を発見して学び取る学習形態であるから、コンピュータはその特徴量が示すものを「猫」と分かっているわけではない。学習で、最終的に残ったのが猫を示す画像であった。つまり、猫という概念を示すものを抽出することに成功したということになる。これによって、ニューラルネットワークが抱えていた深い層への連続学習における課題を解決した点で、AI（人工知能）の研究分野における画期的な転機となった点は特筆に値する。

前章で述べた異種混合学習技術は、予測の「典型的な外れ方」（予測誤差）のパターンを独自のアルゴリズムで分析する手法である。その結果を数理最適化技術と融合して、「外れ方」を勘案した上で最適化する。これにより、予測が外れても損失が発生するリスクが低く、安定して高い効果が出せる計画を算出可能となる。既に、水の運用管理の分野では2015年、水需要の予測値に対して、運用者の経験に基づいた浄水、貯水、配水計画が行われていたが、過剰造水による水廃棄が多い、非効率なポンプ運転によって電力コストが高い、需要の過小評価による計画変更が頻繁に発生するといった課題があった。そこで、AIを適用したところ、最大で電力コストを20%削減し、かつ需要の過小評価による計画変更回数を10分の1に削減することが可能との試算が得られた¹⁷⁾。

先の「2. エネルギーシステムの転換」で述べたように、電力の需給バランス調整メカニズムにおける課題も、まさにこの水運用管理システムと同種の内容であった。すなわち、電力会社の送配電インフラ系統との連携において不安視されているのは次のような点であった。まずは、全量買い取り制度では、売電のためメガソーラーを系統に接続することを電力会社は拒めない。しかし、電力の安定供給に支障が生じる場合については例外規定がある。現状でも風力発電の系統連携は「安定供給」を口実に厳しく制約されている。すなわち、風力発電の枠は各電力会社が抽選で事業者割り当てることとなっており、応募に対し、実際に系統連携を認めた割合は極めて限定的であった。

16) <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20120627/405501/?rt=ocnt>〈平成28年1月12日検索〉日経BP社、【Google、大規模人工ニューロンネットワークを用いた研究成果を紹介2012/06/27】参照。

17) 日本電気株式会社、http://jpn.nec.com/press/201511/20151102_03.html、〈平成28年1月12日検索〉、【NEC、ビッグデータ分析・予測に基づき判断や計画を最適化する人工知能（AI）「予測型意思決定最適化技術」を開発】より引用・編集。

例えば、太陽光発電等の大量導入に伴う電力系統上の課題としては次のような点が上げられている。一定量の電気を安定的に供給する電源（原子力+水力+火力最低出力）等と太陽光発電の合計発電量が電力需要を上回り、余剰電力が発生する場合が想定される。その場合、出力の急激な変動に伴う周波数調整力の不足や配電系統における電圧上昇等が懸念される、というものである。

しかしながら、水の場合でも浄水場、送水場、配水池、テレメータ（流量・水圧・水質）からの大量のデータを収集し、それらのビッグデータを解析し、予測・分析を行ったうえ、中央監視制御室において増水調整を行うことができる。この際、AIによる教師なし学習の結果、換

言するとコンピュータシステムが自ら規則性を発見して学びとった結果、最適解を得られることとなった。このディープラーニングによる制御システム技術は、電力の需給バランスを調整する上でも十分に効果を発揮することは、先の「3. 電力の安定的供給と異種混合学習技術」で述べたとおりである。従って、本論文では「1. はじめに」で述べたように、ICTと結び付いた省エネルギーの動きに基づく、エネルギー転換を突破口とする地域に新しい雇用を生むような産業戦略にとっての隘路は、今やスマートグリッドにおいては切り開かれつつあることを明らかにすることができた。