

天候トレンドの統計学的分析に基づく

太陽光発電と天候デリバティブの天候リスクに関する分析

2010 年 3 月修了予定

指導教員 吉田 好邦 准教授

学生番号 47-096663 川浦 真吾

キーワード：太陽光発電、天候リスク、天候デリバティブ、時系列分析、ARCH モデル

1. 序論

本研究では、太陽光発電にとって不可避な問題の一つである天候リスクは、太陽光発電の利用拡大に伴い、今後ますます大きな問題になると考え、いまだ不明瞭な点も多いこの天候リスクについて、統計学的なアプローチによりそのリスクの大きさ等を明らかにしていく。

特に、以下の二点については十分に留意しながら、研究を進めた。

一点目としては、日照の条件は時系列変化であることに留意し、統計学的、確率論的に厳密な議論を展開することを心掛けた。特に、日照に関する条件を特徴付ける全天日射量や日照時間といった指標は上限値と下限値の付近に複数の確率的なピークを持つ複雑な変化をするため、安易に平均値や分散等の指標により評価をすることはできない。そこで、日照に関する条件を確率過程として扱い、その背後に想定される母集団の構造を明らかにしながら、天候リスクについて明らかにしていく。

二点目としては、近年、全天日射量には増大の傾向があり、この影響について十分に留意しながら分析を進めた。この原因は完全には特定されていないが、この全天日射量の増大が現在有力とされている地球の明化による

ものであるとすれば、今後しばらくは同等の状況が続いていくとされていることを考慮した。

更に、本研究の過程に於いて、日照条件の分散の拡大についても明らかになったため、本研究ではこの結果に基づき、天候リスクについて評価を行った。

この天候リスクの解明により、今後の太陽光発電の導入計画や天候デリバティブの利用計画、更には、太陽光発電の販売戦略や天候デリバティブの設計等に寄与すること、そして、これらを通じ、太陽光発電の更なる導入量の増加による、日本社会の循環型社会へのシフト、持続可能社会の実現に寄与することを本研究の目的とする。

2. 現状

2.1 太陽光発電と天候デリバティブ

太陽光発電による発電量を決定する最大の要因の一つである気象条件の変動については、過去には“Acts of God”と称され、これに伴うリスク、すなわち天候リスクについては仕方のないものとされてきた。しかし、社会のリスクへの考え方の変化と、近年、温暖化に代表される気候トレンドの変化に伴い、天候リスクがその存在感を増してきている。これを受け、金融技術の発展と保険技術と金融技

術の融合により、1990年代後半頃に、天候リスクをヘッジすることができる天候デリバティブという金融商品が開発された。

近年、日本に於いて、太陽光発電システム販売促進を目的として、天候デリバティブと同様のシステムを用いた太陽光発電システムの販売サービスが開始されている。このサービスは太陽光発電システムの販売会社が自社で太陽光発電システムを購入した顧客に対し、購入後5年間に於いて、日照時間が規定値より少なかった際には保証金を支払うというものである。こういったサービスは消費者の購入意欲をし得るものであると考えられ、その後、他の数社の太陽光発電システム販売会社も同様のサービスを開始している。

しかし、このサービスも毎年大きく基準値を変更する会社があったり、非常に低い基準値を採用している会社があったりと、消費者にとって真にメリットのあるサービスであるかは不明瞭な点もある。

2.2 日照条件の変化

全天日射量については、気象データによれば、日本に於ける全天日射量は1980年頃から増加トレンドにあることが気象庁により報告されている。更に、北半球の広い範囲で同様の傾向にあることが分かっている。

この全天日射量の増加の原因として、いくつかの有力な原因は提示されている。最も有力な原因は、排気ガスや光を吸収するブラックカーボンの減少により、大気に於ける太陽光の吸収量が減少していることにより、地表へ達する日射量が増しているとするものである。この現象は地球の明化と呼ばれている。仮に、もしこの地球の明化が全天日射量の増加トレンドの原因であるならば、今後数年の間はこの傾向が続くのではないかと言われている。

また、全天日射量の増加トレンドの原因として、その他に考えられているものとしては、温室効果ガスによる長波放射の増加や大気中のエアロゾルの減少等が挙げられる。しかし、これらの原因のどの原因が最も有力であるかについては完全には特定されてはいないというのが現状である。

3. 天候のモデル化

日照条件は2.2のような状況にあり、今後天候リスクが高まることが予想される中で、本研究では、今後、太陽光発電が十分にこのリスクを管理することができる仕組みを作することを目的と考え、まずは、この将来の天候リスクを評価するために、確定的に予測を行うことのできない気象条件を確率過程と扱い、このリスクを評価することとした。

まず、確率過程である気象条件のデータ系列にDoob分解定理を適用することにより、この確率過程を可予測過程とマルチンゲール過程に分離した。次に、可予測過程とした確率過程については、それぞれに適した分析方法を施すことより、その影響を定量的に評価することにした。また、マルチンゲール過程については、統計的に偏りのないことを確認し、乱数項として扱うことにした。

なお、可予測過程とした要因はデータ系列の以下の影響によるデータ系列の変動量である。

- ① 天文学的要因による影響
- ② 季節変動による影響
- ③ 経時変動による影響
- ④ 自己相関による影響
- ⑤ 分散変動による影響

ここで、分散変動の影響は本研究のデータ分析の中で見出された結果であり、これを取り込むために、以下の式を独自に考案し、モデル化を行った。

但し、 ε_t は乱数項の実現値、 σ_t は条件付分散を表す項、 z_t は *i.i.d.* 系列であるとする。

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \sigma_t(g(t)z_t) \quad z_t \sim i.i.d. \\ \log \sigma_t^2 &= \sum_{j=1}^q \beta_j \log \hat{\varepsilon}_{t-j}^2 \\ \xi_t &= \log z_t^2 - \mu \\ \log\{g(t)\}^2 &= ct + d \\ \hat{\varepsilon}_{t-j}^2 &= \varepsilon_{t-j}^2 - \log\{g(t)\}^2 - \mu \\ \mu &= \log z_t^2\end{aligned}$$

また、この分散変動の様子を以下の図に示す。この図では、上段から、分散値、分散の絶対値、分散の移動平均を表すグラフをそれぞれ示している。この図の最下段のグラフから分かるように、近年、分散は拡大傾向にあることが分かる。従って、上式で表す c は本研究で分析対象とした 24 地点の全てで正の値をとることが予測された。

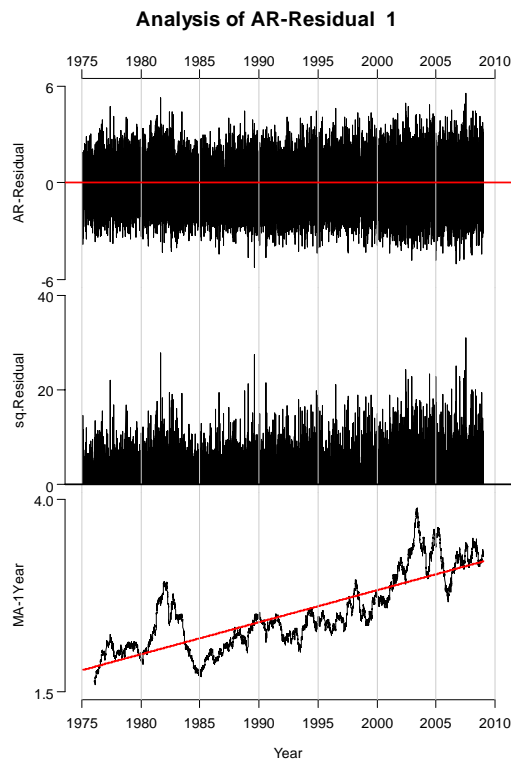


図. 分散の増大トレンド

更に、これに加え、①から④の影響の大きさをそれぞれ評価する。特に、②については全天日射量や日照時間の複雑な分布を再現するために、カーネル密度推定により得られる累積密度関数からコンピュータによる数値計算によってのみ得られるこの逆関数により評価した。

4. 気象条件の予測

本研究に於ける天候モデルは複雑な全天日射量や日照時間の分布を再現できるように構築したため、モデル内部のモデル式も非常に複雑な形となっている。特に、季節変動の影響による天候指標の変動を評価する際に、解析的には解けず、数値計算でしか得られない形の累積確率密度関数やその逆関数を定義したため、モデル式を解析的に解き、これにより天候指標の予測を行うことができない。

そこで、本研究では、天候モデルによるマルコフ連鎖モンテカルロ法により、天候指標の予測を行う。

以下の図に、予測の一例として、この結果の算出の様子を示す。

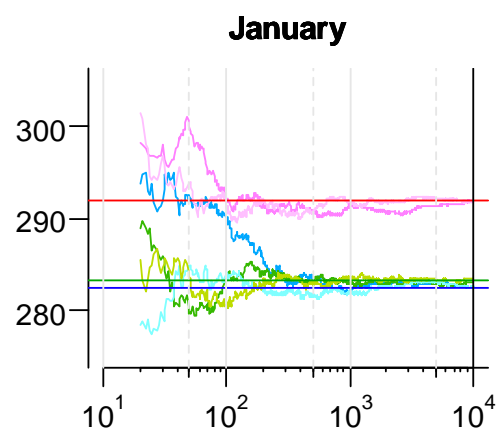


図.MCMC 法による収束の様子

また、これにより、全天日射量や日照時間の将来値の予測を行う。次の図にその予測結

果をプロットしたものを示す。

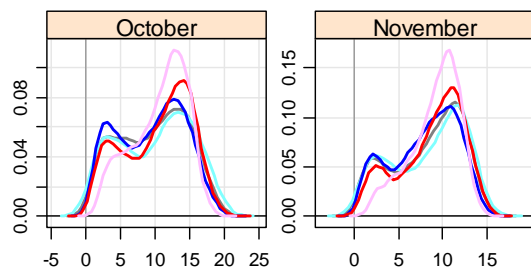


図.予測値の分布の形

ここから、本研究モデルが全天日射量や日照時間の複雑な分布を再現できていることが分かる。

そして、この天候指標の予測結果を利用し、太陽光発電による発電量や天候デリバティブの将来キャッシュ・フローの予測を行う。

5. 太陽光発電による電力の予測

気象条件の予測結果から、太陽光発電による発電量や天候デリバティブによるキャッシュ・フローの予測を行った。

次の図に、この予測結果の一例として、本研究で行った太陽光発電による発電量の予測結果について示す。

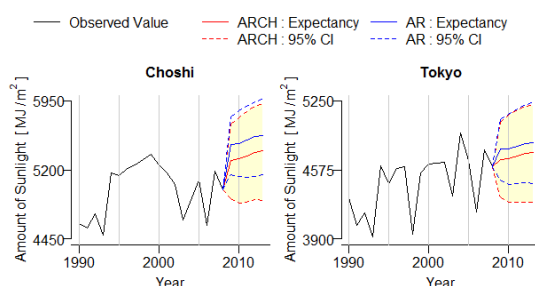


図.太陽光発電による発電量の予測値

6. 天候デリバティブによるヘッジ効果

最後に、ここまで得た予測結果を用いて、天候デリバティブのヘッジ効果について分析する。本研究で行った天候デリバティブによ

るヘッジ効果についての分析結果の一例として、次の図を示す。

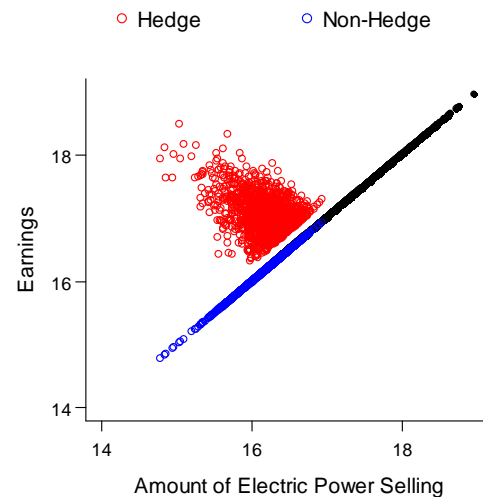


図. 天候デリバティブの損益図

これによれば、天候デリバティブの利用により、上図の青い点の収益はそれぞれ赤い点のところまで引き上げられることが分かり、天候デリバティブからは十分なヘッジ効果を生むことが分かる。

一方で、本研究の過程で、天候デリバティブの現状の商品設計の手法に公平性、安定性に於いて問題となり得るところが見つかった。これらについては、今後天候デリバティブの利用を高めるに障壁となり得ることが分かった。

● 参考文献

- [1] Melanie Cao, Jason Wei, “Weather derivatives valuation and market price of weather risk”, 2004, Journal of Futures Markets, 24, 1065-1089
- [2] Tee Kian Heng, 刈谷 武昭, “ARCH 型分散変動モデルによる北海道ガスと三井住友海上火災保険の冬季気温リスク・スワップの検証”, 2006