

## 太陽活動の地球気候への影響

- Top down scenario か bottom-up scenario か？

村木 綏、柴田 隆 (名古屋大学)、柴田祥一 (中部大学)

### 1. はじめに

太陽活動が地球の気候に影響を与えているのかという問題は、太陽地球系科学の中心問題の一つである。太陽活動が地球の超高層に影響を与えていることは疑う余地がないし、今までにも多数の優れた研究がなされている。古い時代には短波通信に与えるデリンジャー現象が有名であった。しかし最近では光ファイバーによる通信が主流のため太陽活動から国際通信は free になっている。地球の大気上層に太陽活動が影響を与えていることは明白であるが、地球の対流圏下の気候に影響を与えているかは、必ずしも確定したことはないという著者は考える。この仮説は **top-down scenario** と呼ばれる。

一方海洋や対流圏が太陽活動の影響を受け、気候に変動を与えているという仮説を **bottom-up scenario** と呼んで区別する。果たして **top-down scenario** が正しいのか、**bottom-up scenario** が正しいのか、あるいは両仮説が同時に成立しているのか、本当に太陽活動が地球の気候変動を引き起こしているのかという根本的な疑問も含めて、学会で盛んな議論が展開されている。国際気候変動パネル (IPCC) の推定値は、太陽活動の地球気候への影響は温暖化ガスの 5% 程度である。約  $1/8 \text{watts/m}^2$  である。また Lean and Rind の解析によると、太陽活動による地球の気温への影響は北緯・南緯 40 度近傍が最大であり約 0.5K と推定している [1]。この値は過去 118 年間の世界の気象 data を解析して得られたものである。このように太陽活動の気候への影響はわずかなので、本当に影響があるのかということまで含めて議論を呼んでいる。

以上のような背景の中で、我々は **bottom-up scenario** に関連する面白い気象データを見いだしたので、ここで報告しておく。

### 2. 屋久島気象データの解析

屋久島は良く知られたように、降雨量の大変多い島である。年間の降雨量 4,500mm にも及ぶ。特に 6 月の降雨量が多く一か月で 770mm にもなる。屋久島のすぐ南を黒潮暖流が流れており島の気温は安定している。また屋久島には標高が 2,000m 近くの山がある。

屋久島の気象は屋久島測候所により測定されており、1,938年から75年間の気象データが存在している。これらの気象データは気象庁のホームページから公開されており、我々はそのデータを使用して解析した[2]。

まず図1と図2に、気温と水蒸気圧の値に対してフーリエ解析をした結果を示す。図の横軸は月単位で示されており、12か月の所に鋭いピークがある。これは取りも直さず春夏秋冬の季節変動に対応するものである。しかしそれ以外に特に際立ったピークは無い。一方図3に示すように、日照時間に対するフーリエ解析の結果は少し違って成分が含まれている。春夏秋冬に対応する鋭いピークはあるが、それ以外におよそ22年に対応する周期の存在がある。ここで日照時間とは太陽を直接見たとき、 $120\text{watts/m}^2$ 以上になる日射量の時間と定義されている。日照時間が $120\text{watts/m}^2$ 以下になると、影が見えなくなる程度の日射量である。

そこでさらに日照時間の分析を進めた。各月毎に周期解析を行ってみた。その結果6月に太陽周期に対応する11年周期が見られ、7月に倍周期の22-24年周期の存在が分かった。図4と図5にその結果を示す。

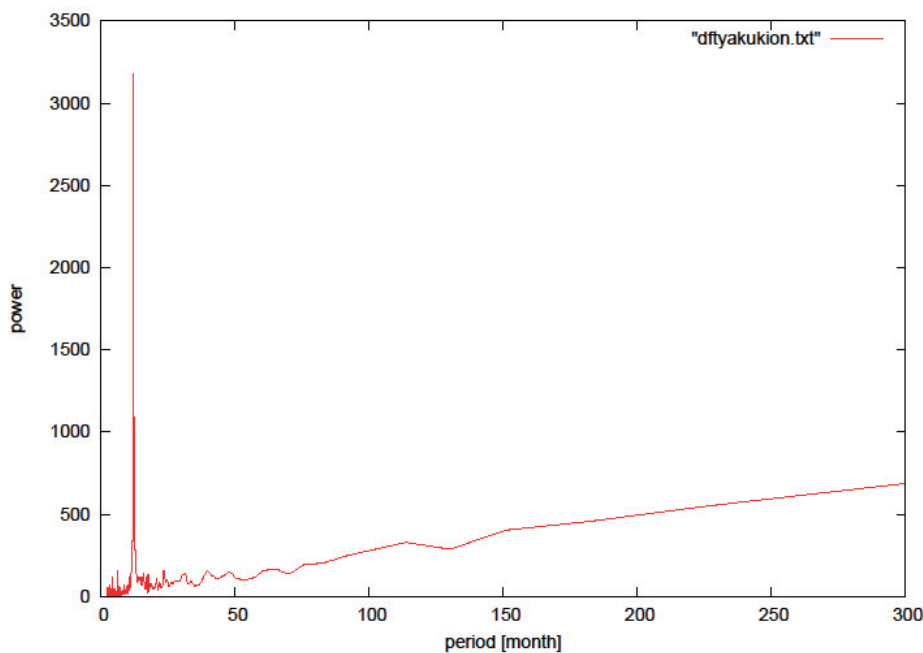


図1. 気温のデータに関する周期解析結果。使用した気温データは1938年から2013年間に屋久島で測定されたもので、横軸は月単位で表してある。

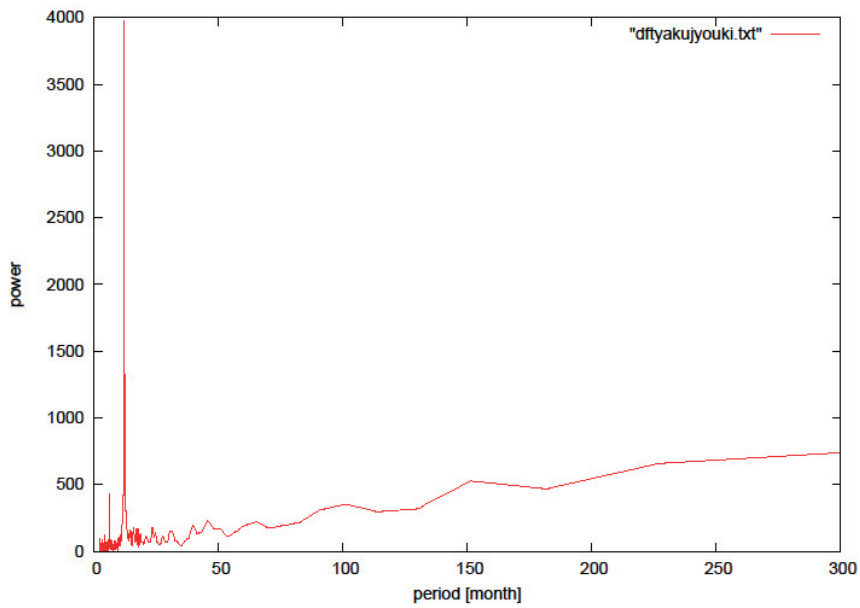


図 2. 水蒸気圧に対するフーリエ解析の結果。横軸は月単位で表されている。12 か月に鋭いピークが見られる。使用したデータは 1938-2013 年度。

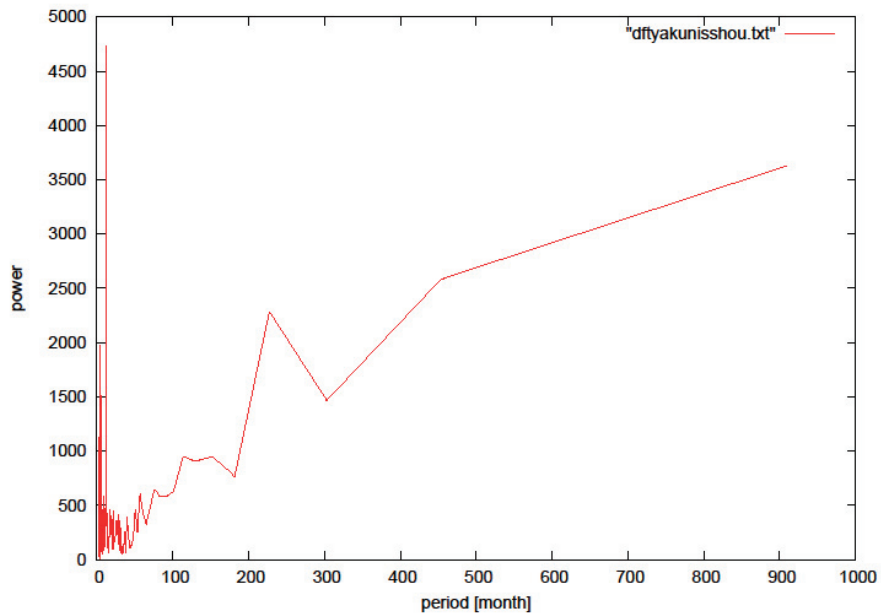


図 3. 日照時間に対するフーリエ解析結果。12 か月の鋭いピークの他に、240 か月近傍にもエクセスが認められる。

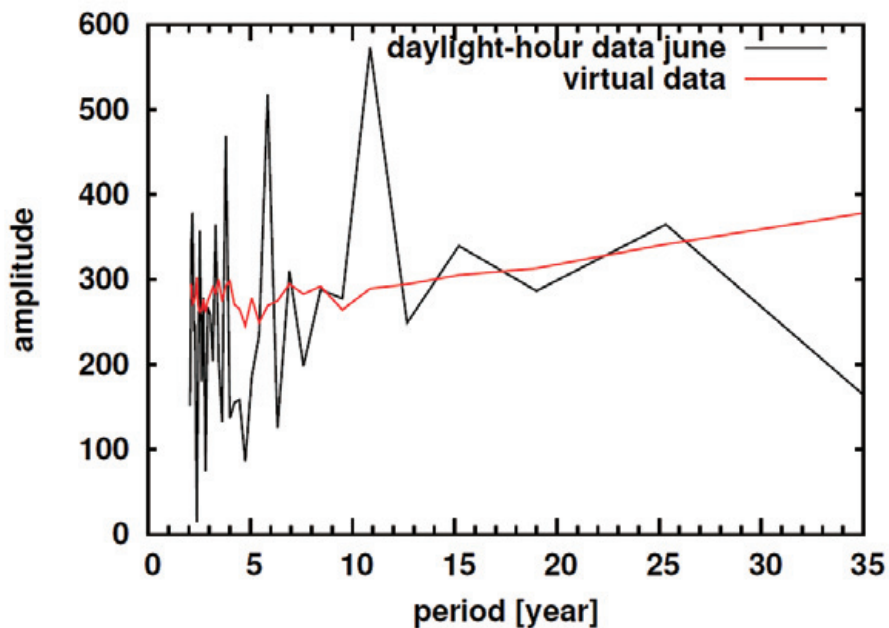


図 4. 屋久島日照時間 6 月に対するフーリエ解析の結果。周期 11 年のところに約  $2\sigma$  のエクセスが認められる。赤線は background に対するフーリエ解析の結果。1938-2013 年のデータを使用。

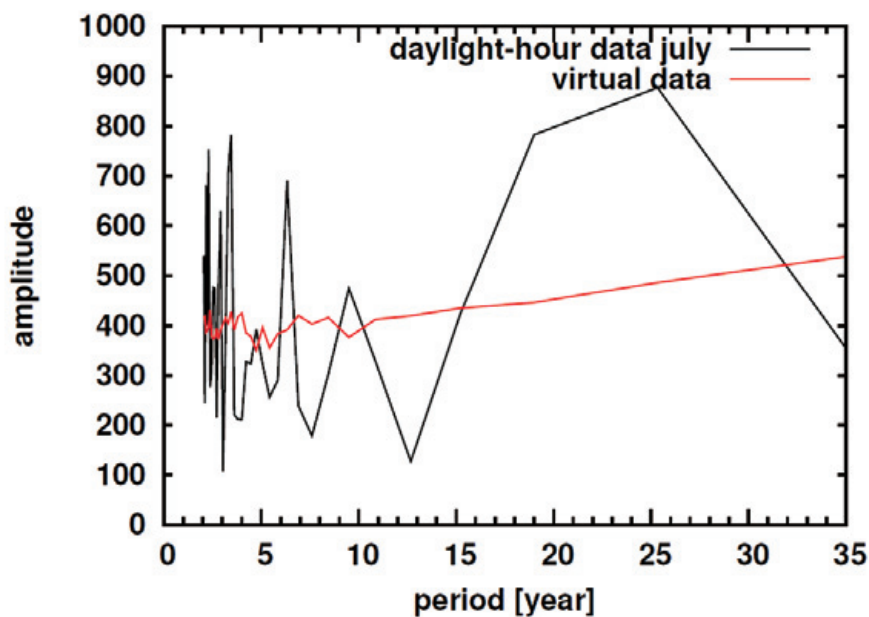


図 5. 屋久島日照時間 7 月に対するフーリエ解析の結果。縦軸は振幅を表す。赤線は background に対するフーリエ解析の結果。19 年と 25 年の周期にエクセスが認められる。統計的有意性はそれぞれ  $2\sigma$  弱である。しかし 2 点にまたがっているので、結合すれば有意性があると思われる。

### 3. 屋久島日照時間データと太陽活動の相関

ここまでは何も細工をしていない、“解析したらこうなりました”という報告である。ここで終わってもよいのであるが、少しその原因を考察してみよう。6月は梅雨前線の活動が活発になる時期であり、7月は夏の太平洋高気圧が張り出してくる月である。

11年周期と言えば太陽活動を思いつく。そこで太陽活動と相関があるのか否か調べて見た。6月の日照時間の変動には他の要因が含まれている。それは火山活動による、火山灰の到来による日照時間の減少である。この混濁係数を補正して、本来の値に直した日照時間と太陽黒点数を比較したものが図6である。両者はかなり連動しているように見える。ちなみに両変動量間の相関係数をとってみると0.47となった。おおよそ0.5である。日照時間と黒点数には相関があることがわかった。

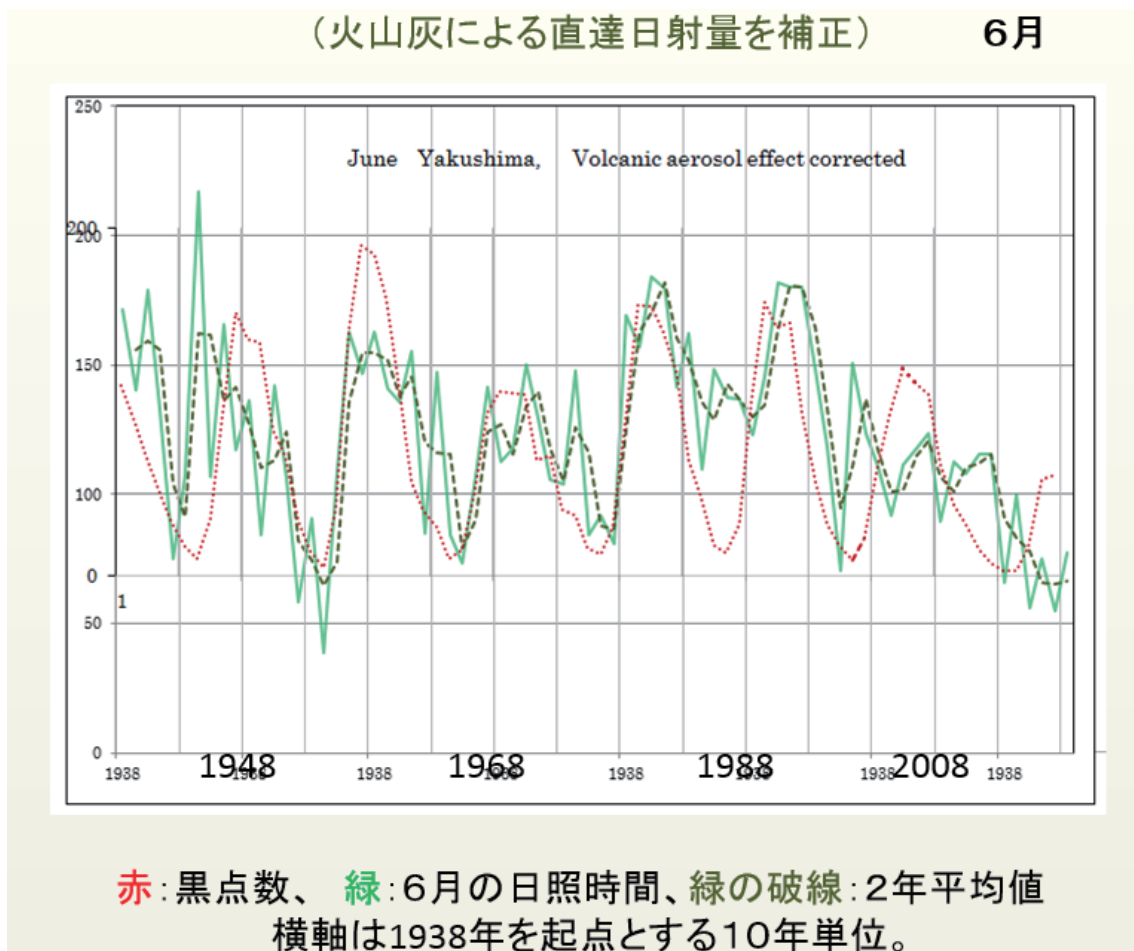


図6. 日照時間と太陽黒点数を重ねた図。赤の点線が黒点数を表し、緑の点線が

日照時間の2年移動平均をとったものに対応。

#### 4. 八丈島の日照時間の解析

屋久島で見つかった日照時間と太陽活動の相関が、たまたま屋久島だけのものか、広域にまたがっている現象なのかを調べるために、同じような条件下の気象データをフーリエ解析してみた。その結果を次に述べる。黒潮が流れていて、山がある島を探したら八丈島が見つかった。八丈島では屋久島よりも測候所の記録が長く、なんと明治40年から106年間の貴重なデータがある。そこで6月と7月の日照時間に対して同じようにフーリエ解析を実施した。すると同じような傾向が見つかった。すなわち屋久島に存在した周期は八丈島にも存在していた。かなり普遍的であることがわかる。結果を図7と図8に示す。

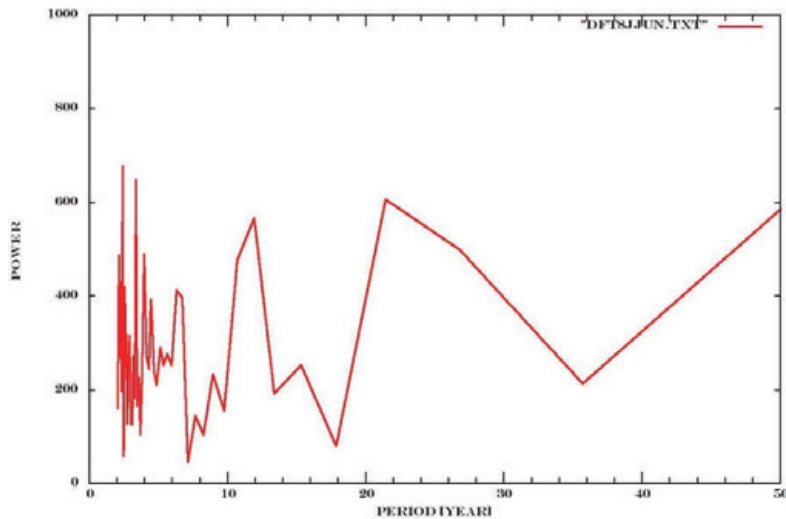


図7. 八丈島の6月日照時間に対するフーリエ解析の結果。11-12年周期の箇所と、22年周期の箇所にそれぞれ3 $\sigma$ 弱のエクセスが認められる。

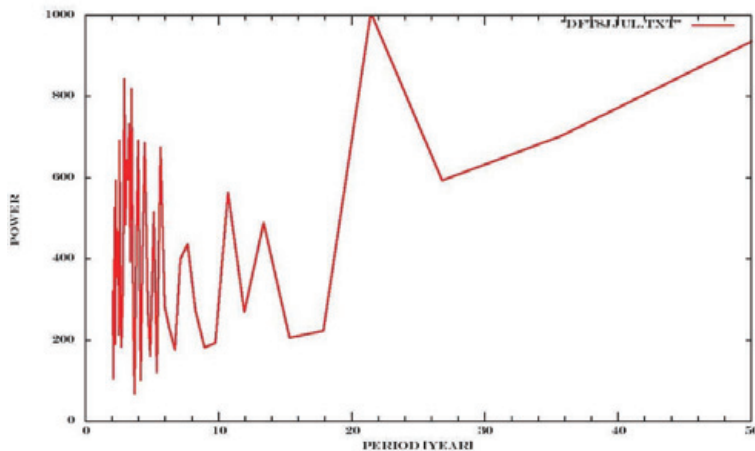


図8. 八丈島の7月日照時間に対するフーリエ解析の結果。

22年周期の箇所にも  $3\sigma$  程度のエクセスが認められる。

### 5. NZ ラウル島の日照時間

日本で見つかった日照時間に現れたフーリエ解析の結果が global に成り立つものか否かを知るため、赤道をはさんだ屋久島の反対側の島のデータ解析をした。暖流が流れており、島に山があればオーストラリア領の島でもよかった。さしあたりデータが得られた NZ のケルマディック諸島、ラウル島(Raoul)のデータを解析した。(このデータは NZ 気象庁から公開されているが、月毎に整理されておらず、全部の生データを処理するのに著者の一人は《柴田祥一》大変苦労した。) 島には標高 516m の山がある。島の地理的位置は、南緯 29 度 27 分西経 177.92 度でほとんど日付変更線上にある。図 9 に解析結果を示す。この場合は現地が梅雨に相当する 12 月のみのデータに 11 年周期が認められた。

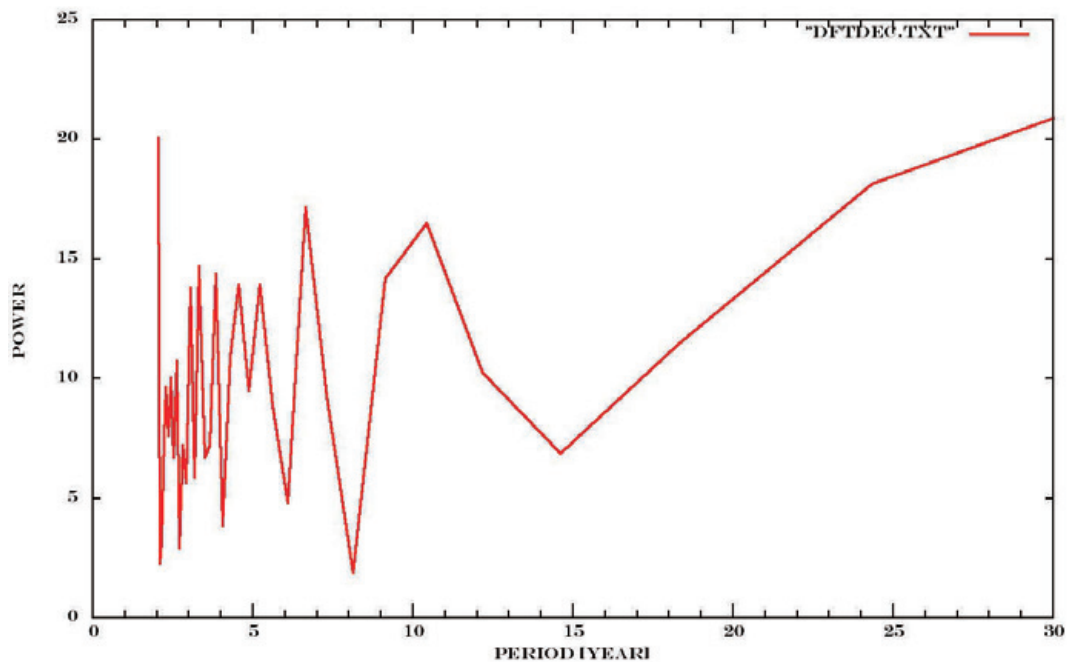


図 9. NZ ケルマディック諸島、ラウル島の 12 月の日照時間に対するフーリエ解析結果。12 年周期の存在が認められるが、統計的有意性は  $2\sigma$  程度である。使用したデータは 1940-2013 年度のものである。

#### まとめ

八丈島も屋久島もラウル島も太陽が真上に上ってくる 6 月または 12 月に 11 年周期が卓越している。八丈島の山の標高は屋久島のように 2,000m 級の山があるわけではないが、標高 700m と 860m の山が 2 つ存在している。暖流も流れている。山がある島に関連した気象現象かもしれない。そこで次にその

原因を考えてみよう。

## 6. 考察

それでは太平洋上の諸島の梅雨の期間の日照時間がどうして太陽活動の変動の影響を受けているのか、もし本当なら何が原因かを考えてみる。そこで以下に並べるような推論を立てよう。

1. 雲はエアロゾルに水滴が吸着した雲核(CCN)が生長して作られる。(☺ok)
2. 雲を形成する基になるエアロゾルは海上から波しぶきや風で巻き上げられた海塩粒子が主体である。(☺ok)
3. 水分子は衝突して合体(凝結)するが、小さな水分子の集団から水分子が表面張力に打ち勝ち蒸発する場合もある。(☺ok)  
ここで大きな仮定を導入する。
4. 太陽紫外線が水分子や水分子集団中の水分子の共有結合を破壊する役割を果たしていると考え。そして大きな水分子集団の形成を遅らせる(第二間接効果)。すなわち太陽活動が盛んだと雲の生長が遅れる。

水分子の結合が、水素原子と酸素原子間の結合エネルギー(4.6 eV)に相当する太陽紫外線(240nm)がこの結合を破壊する。水分子自身を破壊しているのはいか？こう考えると太陽活動と日射時間の相関はすっきり説明できる。

この仮説に基づき本格的に考えるべきことか否かは数値計算(MC計算ではない)によって一応当たった。全く起こりえない数値ではなかった。しかし実験で証明するのがベストである。例えば飽和水蒸気に近い chamber の中に10-100nm 程度のエアロゾルを吹き込む。その時240nm 近傍の紫外線を当てて雲に生長する割合を測定すればよい。最近の chamber 実験ではオゾンが無いと雲核へと成長しないという報告がある[3][4]。しかし水分子が紫外線でイオン化されればオゾンができるので同じ効果があると考えられる。更なる室内実験が必要であると思われる。島だけの現象なのか、大陸の気象にも適用できるのかを調べるためには多数の気象データの解析も必要となる。また衛星を使って地球からの240nm 線の強度モニターも重要であろう。



参考文献

- [1] J. L. Lean and D. H. Rind, GRL, 35 (2008) L18701.
- [2] <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?>
- [3] 伊澤雄貴、宇宙線と雲核生成との関連性の検証実験、名大宇宙線研究室記事 2012年3月、page 85-154. (修士論文)
- [4] K. Yoshihara, Y. Takatori, K. Miyazaki, and Y. Kajii, Ultraviolet light-induced water-droplet formation from wet ambient air, Proc. Jpn. Acad. Ser. B83 (2007) 320.