

## 地磁気静穏日変化 (Sq) の長期トレンドから推察される超高層大気変動について Upper atmospheric variation inferred from the long-term trend in the geomagnetic solar quiet daily variation

新堀 淳樹<sup>1\*</sup>, 小山幸伸<sup>2</sup>, 能勢正仁<sup>2</sup>, 林寛生<sup>1</sup>, 堀智昭<sup>3</sup>, 大塚雄一<sup>3</sup>, 浅井歩<sup>4</sup>, 磯部洋明<sup>4</sup>, 横山正樹<sup>6</sup>, 上野悟<sup>5</sup>, 塩田大幸<sup>7</sup>, 羽田裕子<sup>5</sup>, 北井礼三郎<sup>6</sup>, 津田敏隆<sup>1</sup>

SHINBORI, Atsuki<sup>1\*</sup>, Koyama Yukinobu<sup>2</sup>, Nose Masahito<sup>2</sup>, Hayashi Hiroo<sup>1</sup>, Hori Tomoaki<sup>3</sup>, Otsuka Yuichi<sup>3</sup>, Asai Ayumi<sup>4</sup>, Isobe Hiroaki<sup>4</sup>, Yokoyama Masaki<sup>6</sup>, UeNo Satoru<sup>5</sup>, Shiota Daikou<sup>7</sup>, Hada Yuko<sup>5</sup>, Kitai Reizaburo<sup>6</sup>, Tsuda Toshitaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京大・生存研, <sup>2</sup> 京大・理地磁気資料解析センター, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>4</sup> 京都大学宇宙総合学研究所, <sup>5</sup> 京都大学大学院理学研究科附属天文台, <sup>6</sup> 和歌山大学宇宙教育研究所, <sup>7</sup> 理化学研究所

<sup>1</sup>RISH, Kyoto Univ., <sup>2</sup>DACGSM, Kyoto Univ., <sup>3</sup>STEL, Naogya Univ., <sup>4</sup>Unit of Synergetic Studies for Space, Kyoto Univ.,

<sup>5</sup>Kazan and Hida Observatories, Graduate School of Science, Kyoto Univ., <sup>6</sup>Institute for Education on Space, Wakayama Univ.,

<sup>7</sup>RIKEN

電離圏・熱圏領域における中性大気は、太陽放射に起因する熱対流や、太陽、月などの潮汐力によって大規模な運動を行っているが、この運動によるダイナモ作用によって発生する電離圏電流が地磁気静穏日 (Sq) 変化を作ること古くから知られている。そして、この電離圏電流は、オームの法則から、電離圏電気伝導度、分極電場、および中性大気風の3種類のパラメータに依存する。よって、Sq 場の振幅を調べることは、電離圏・熱圏領域におけるプラズマ密度や中性大気風などの長期変動の理解に欠かせない。近年、Elias et al. [2010] は、Apia、Fredericksburg と Hermanus の3観測点でのSq 場の振幅が1961年-2001年の約40年間で、5.4-9.9%だけ増加していることを見出した。彼らは、地球磁場の永年変化に伴う電離圏電気伝導度の変化がSq 場の振幅の長期トレンドの大部分を決めているが、残りは、地球温暖化ガスの冷却効果による電離圏電子密度増加に伴う電気伝導度の変化であると言及している。しかしながら、Elias et al. [2010] の研究は、以下の3つの問題点を含んでいる。(1) 3観測点だけで得られた2001年までの観測データの長期解析しかしておらず、全球的な変動を捉えるに至っていない。(2) 太陽活動の変動を取り除くのに太陽黒点数を用いていることから、無黒点数の時期が比較的多い太陽活動極小期におけるSq 場の振幅と太陽活動との定量的評価ができていない。(3) Sq 場の変動の源となる電離圏・熱圏領域における中性大気風の変動を解析していないため、その長期変動によるSq 場の振幅への影響が明らかとなっていない。そこで本研究では、2009年度から開始したIUGONETプロジェクト(超高層大気長期変動の地球上ネットワーク観測・研究)から提供される地磁気やMF、流星レーダーで得られた電離圏・熱圏領域における中性風の長期観測データを用いて、電離圏・熱圏大気の長期変動がSq 場の振幅へ与える影響を定量的に明らかにすることを目的とする。本解析で使用した観測データは、UV、EUV領域の太陽放射強度の指標としての太陽F 10.7指数、184点の地磁気観測点から得られた地磁気1時間値である。ここで、Sq 場の振幅は、地磁気Kp指数の値が1日を通じて4未満である日を選定し、その期間の中で地磁気の最大と最小の差として定義した。解析の結果、全ての観測点で得られたSq 場の振幅には、太陽F10.7指数との間に強い相関関係が存在し、典型的な太陽11年活動周期を示していた。また、比較的太陽活動が活発であった19と22サイクル時のSq 場の振幅は増加傾向にあるが、逆に太陽活動が比較的活発であった20サイクル時では、Sq 場の振幅が減少傾向にある。この結果を受けて、太陽F 10.7指数とSq 場の振幅から2次の回帰曲線を求め、そこからのずれの経年変動を調べた。その結果、太陽活動を差し引いたSq(Res-Sq) 場の振幅には、約20年ごとに減少と増加の期間が入れ替わる傾向が全ての観測点で見出された。そのRes-Sq 場の振幅の最小と最大がそれぞれ1970年と1990年付近に現れていた。さらに、太陽風のエネルギーを駆動源とする極域の2セル対流によって作られる極域Sq(Sqp) 変化の振幅の長期変動にも中低緯度のもと同様の傾向が見られた。このことから、Sq 場とSqp 場の長期トレンドは、地磁気の永年変化や超高層大気の長期変動(例えば、地球温暖化による電離圏・熱圏大気密度変化)に伴う電離圏電気伝導度の変化に関与したものと考えられる。よって、このことを実証するために、IRI-2007とMSIS-00モデルから計算される電離圏伝導度の長期変動を調べる必要がある。

キーワード: 太陽活動, 地磁気日変化, 電離圏電気伝導度, 電子密度, 地磁気永年変化, 地球温暖化

Keywords: Solar activity, Sq variation, Ionospheric conductivity, Electron density, Geomagnetic secular variation, Global warming

## 屋久杉炭素同位体を用いた屋久島の夏の日照量の復元

### Reconstruction of summer insolation in the Yakushima island using stable carbon isotope in Yakusugi Cedar

阿瀬 貴博<sup>1\*</sup>, 小笠 博貴<sup>2</sup>, 宮原 ひろ子<sup>3</sup>, 片岡 龍峰<sup>1</sup>, 丸山 茂徳<sup>2</sup>

AZE, Takahiro<sup>1\*</sup>, OGASA, Hiroki<sup>2</sup>, MIYAHARA, Hiroko<sup>3</sup>, KATAOKA, Ryuhō<sup>1</sup>, MARUYAMA, Shigenori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科理学研究流動機構, <sup>2</sup> 東京工業大学大学院 理工学研究科 地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> 東京大学宇宙線研究所

<sup>1</sup>Interactive Research Center of Science, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Department of Earth and planetary sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup>Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo

過去の日照環境を理解することは雲が気候に及ぼすフィードバックを考慮する上で極めて重要である。樹木年輪中の炭素同位体比は年輪が形成された時の光合成速度と気孔導通性によって変動する。高湿度地域では気孔による分別の影響は小さくなり、光合成速度すなわち日照量変動を示すことが知られている。豪雨地域である屋久島でも特に雨量の多い屋久島の石塚地域の気象観測結果から夏の相対湿度はほぼ100%であった。本研究では石塚地域に生息していた屋久杉炭素同位体の分析から屋久島の過去の夏の日射量変動を単年精度で復元した。その結果、中世の温暖期では屋久島の日照量は少ない傾向を示し、小氷期では多かった。

Keywords: tree ring, stable carbon isotope, summer insolation

## 太陽風の気象影響 - 地表気温と aa 指数の相関と QBO の関与

### Meteorological influence of the solar wind ? Correlation of the surface temperature and the aa index, and participation

伊藤 公紀<sup>1\*</sup>, 松尾 慎也<sup>1</sup>

ITO, Kiminori<sup>1\*</sup>, Shinya Matsuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学・環境情報研究院

<sup>1</sup>Yokohama National University

地表気温と aa 指数の相関を確認するとともに、その起源を探索中である。現在までに得られている知見 [1] の例を挙げる。1)1960~2001年の期間について、冬の aa 指数と春の気温の相関が北欧地域で正かつ高い ( $r=0.7$  程度)。2) 北極振動と地表気温の相関は冬-冬で強いが、全体としてみると、相関地図は、地表気温と aa 指数の相関地図と似ている。4) aa 指数の代わりに OMNI2 の太陽風データを用いたところ、aa 指数と高相関の Pa(太陽風から磁気圏に取り込まれる仕事率)と地表気温の相関が高かった(1月と3月の組み合わせなど)。5) Pa と北極振動の相関は、1月と1月の組み合わせなどで高い。6) QBO の東風相(1月)での相関が高い。

このように現在まで、太陽風から取り込まれるエネルギーと地表気象とを繋ぐ何らかの機構があることを確信させる結果が得られている。また、太陽風データの代替として aa 指数を用いることが妥当であることが示された。ここでは、検討を緻密化させることを試みる。太陽風データは途中で欠けがあるので、主として aa 指数を用いた。

QBO (30 mb) による層化に用いる月を検討したところ、春の北欧地域の地表気温に対しては3~5月が高い相関を示した。1月~5月について、例えば  $r=0.78, 0.82, 0.91, 0.9, 0.92$  となった。他の月では、9-12月が  $r=0.76$ 、6-8月が約0.85であった。すなわち、aa 指数に対する QBO 月よりも、気温に対する QBO 月を採用する方が高相関となった。QBO 東風相時と西風相時を比べると、北欧地域や北大西洋地域では東風時に高相関となったが、北太平洋中央部のように西風時に高相関(負)を示す領域もあった。

QBO は赤道域成層圏に限られた現象だが、その風向きによって、例えば対流圏から上層への(またあるいはその逆方向への)プラネタリー波などの伝播に影響を与えられ考えられる。従って、aa 指数と地表気温の相関に QBO が関与していることは、太陽風の気象影響に大規模な大気循環が関わっていることを示している。

Pa と aa 指数との高相関性、また Pa の物理的意味を考えると、これらの量と地表気温の相関は、オーロラジェット電流に関係が深いと考えられる。従って、太陽風の気象影響を理解するためには、電離圏と中層大気を繋ぐ機構が必要である。

[1] 伊藤公紀、地球惑星科学連合大会 2008 年~2011 年

キーワード: 太陽風, 気温, aa 指数, QBO, 北極振動

Keywords: Solar wind, Temperature, QBO, aa index, Arctic oscillation

## 対流圏及び下部成層圏の気温に対する太陽風の影響

### Influence of solar wind on the temperatures of the troposphere and lower stratosphere

山下 和良<sup>1\*</sup>

YAMASHITA, Kazuyoshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学大学院環境情報学府

<sup>1</sup> YOKOHAMA National University

#### 対流圏及び下部成層圏の気温に対する太陽風の影響

太陽磁気活動と地上気温の関係は相関関係にあることは間違いないが、その原因は明らかではない。この問題に対して今までの研究成果 (1) に基づき、地球大気鉛直構造を解析し、その原因について分析検討する。地球大気は基本的には太陽からのエネルギーを吸収することで、地上へ降り注ぐ可視光や赤外線などを調整するフィルターとしての役割をはたしている。太陽活動の変化に伴う太陽放射の変化は0.1%程度で、気候の変化に影響を与えない(それにもかかわらず、11年周期で変動する気象は存在するので、その理由がはっきり解明されないかぎり、完全に影響がないとは断言できない)(2)が、近年の研究では紫外線やX線は1~10%も強さがかわることがわかってきた(3)。

今回、太陽風の影響を確認するためOMNI 2太陽風データを使用し、aa指数などのデータと地球大気鉛直構造における気温変化との位相について確認する。期間は1980年から2010年までの30年間とし、調査対象地域はフィンランドのソダンキュラ、大気鉛直構造における気温変化を確認するためのデータは、高層気象観測データ(ワイオミング大学HP)を使用する。

結果については、現在、解析中であるため、今回は途中経過について発表する。なお、解析を進めるにあたって次の点に注意した。波長が200ナノメートルよりも長い「近紫外線」は、主に高度50キロメートル付近で大気に吸収される。その付近の温度、極大期と極小期で1~2%程度とすることが詳細な観測からわかってきた(3)。これより上空の高度50~80キロメートル付近までの中間圏では、オゾン濃度の減少に伴い紫外線吸収量も減少するため、高度の上昇とともに気温は低下するが、80キロメートルより上空の非均質圏では、高度の上昇とともに分子量の小さい気体分子や、原子の占める割合が増加するため、高度の上昇とともに気温も急激に上昇する。また、電離層の最下層であるD層は、高度60~90キロメートルに出現し、昼間は60キロメートル付近まで下がり、夜間は80キロメートル付近となる。D層の電子密度は、フレアーにともなって激しく変化するため、太陽磁気活動の影響を受けて高度が変化することは明らかである。

以上のことから今回の解析では、太陽磁気活動の影響によって、高度50キロメートルより上空の気温が上昇し、それに伴う影響が下部成層圏から対流圏にかけて伝搬しているかについて、OMNI 2太陽風データと高層気象観測データのそれぞれの位相を解析した。

今後は、気象ロケット観測データなどを使用して、北極振動や成層圏突然昇温などとの関係について、さらに解析を進めていきたい。

- 1) 伊藤公紀、地球惑星科学連合大会 2011年、など
- 2) 地球環境科学 放送大学大学院教材 木村龍治ほか
- 3) 太陽のすべて Newton別冊 2012.1.10 発行

キーワード: 太陽風, 対流圏, 下部成層圏, 地磁気活動指数, 気温, 相関

Keywords: solar wind, troposphere, lower stratosphere, geomagnetic activity index, temperature, correlation

## Global Heat Transfer (GHT) モデルにおけるエントロピー生成率の最大化 (MEP) Maximum Entropy Production (MEP) in Global Heat Transfer (GHT) model

芹沢 浩<sup>1\*</sup>

SERIZAWA, Hiroshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 芹沢浩, <sup>2</sup> 雨宮隆, <sup>3</sup> 伊藤公紀

<sup>1</sup>Hiroshi Serizawa, <sup>2</sup>Takashi Amemiya, <sup>3</sup>Kiminori Itoh

Kleidon 等の Maximum Entropy Production (MEP) 原理によれば, 熱力学的平衡から遠く離れた散逸系はエントロピー生成率が最大化する状態で安定化する. 地球上における熱帯地域から極地域への熱移送もそのような散逸系の中で起こり, MEP 原理の適用が可能であると考えられる. 現在のところ, MEP 原理のような最適化理論を検証するための熱移送モデルとしては Kleidon, Lorenz による KL モデル [1] と Reis, Bejan による RB モデル [2] などが知られている. しかし, 両者は地球表面を熱吸収領域と熱放出領域に 2 分割するだけで, 単純化し過ぎていると言わざるを得ない. 本発表では, 地球表面の多分割が可能な Global Heat Transfer (GHT) モデルを新たに提示し, MEP 原理の検証結果を報告する. この分野において, Kleidon 等の MEP 理論とともによく知られた最適化理論に Bejan 等によるコンストラクタル (Constructal) 理論がある [2]. 両者の違いはエントロピー生成率を最大化する MEP 理論に対し, Constructal 理論は移送される熱量自体を最大化するという点にある. Constructal 法則の成立には地球表面積の有限性という条件が必要不可欠で, その点でパラメータの選択に制約がかかる. 一方の MEP 原理にそのような制約はなく, パラメータの選択はかなり自由で, より多種多様なモデルへの適用が可能になる.

[1] Kleidon, A., Lorenz, R.D. (2004) Entropy production by Earth system processes. In: Kleidon, A., Lorenz, R.D. (Eds.), Non-equilibrium thermodynamics and the production of entropy: life, Earth, and beyond. Springer Verlag, Heidelberg, Germany, pp 1-20.

[2] Reis, A.H., Bejan, A (2006) Constructal theory of global circulation and climate. Int. J. Heat Mass Transfer. 49:1857-1875.

[3] Kleidon, A. (2010). Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth. Physics of Life Reviews 7:424-460.

[4] Bejan, A. (2010). Design in nature, thermodynamics, and the constructal law. Comment on " Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth " by Kleidon. Physics of Life Reviews 7:467-470.

[5] Kleidon, A. (2010). Life as the major driver of planetary geochemical disequilibrium. Reply to comments on " Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth ". Physics of Life Reviews 7:473-476.

キーワード: Global Heat Transfer (GHT) モデル, エントロピー生成率最大化 (MEP) の原理, コンストラクタル理論, 散逸系, 熱力学的平衡から遠く離れて

Keywords: Global Heat Transfer (GHT) model, Principle of Maximum Entropy Production (MEP), Constructal theory, Dissipative structure, Far from equilibrium

## マウンダー極小期の太陽活動サイクルに対する気候応答の地域分布 Spatial distribution of climate response to the solar cycles during the Maunder Minimum

山口 保彦<sup>1\*</sup>, 坂下 渉<sup>1</sup>, 宮原 ひろ子<sup>2</sup>, 横山 祐典<sup>1</sup>, 青野 靖之<sup>3</sup>

YAMAGUCHI, Yasuhiko T.<sup>1\*</sup>, SAKASHITA, Wataru<sup>1</sup>, MIYAHARA, Hiroko<sup>2</sup>, YOKOYAMA, Yusuke<sup>1</sup>, AONO, Yasuyuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 東京大学宇宙線研究所, <sup>3</sup> 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

<sup>1</sup>AORI, The University of Tokyo, <sup>2</sup>ICRR, The University of Tokyo, <sup>3</sup>Osaka Prefecture University

The Maunder Minimum (A.D. 1645-1715) is a useful period to investigate possible sun-climate linkages as sunspots became exceedingly rare and the characteristics of solar cycles were different from those of today. We have previously reported that climate (the rainy-season humidity in central Japan, the winter temperature in Greenland, and the mean annual temperature in the Northern Hemisphere) responded significantly to the characteristic solar magnetic cycles during the Maunder Minimum (Miyahara et al. 2008 EPSL; Yamaguchi et al. 2010 PNAS). At the solar cycle minima of negative polarity, we observed wet climate in Japan, and cold climate in Greenland and in the Northern Hemisphere. Here, we further examine climate responses to the solar cycles for wider areas including the Southern Hemisphere using the records of paleoclimate obtained from previous studies. We will discuss the spatial distribution of responses and its possible mechanism.

キーワード: 太陽活動, 小氷期, 古気候復元, 樹木年輪, マウンダー極小期

Keywords: Solar activity, Little Ice Age, Paleoclimate reconstruction, Tree rings, Maunder Minimum

## マウンダー極小期における太陽磁場変動と日本の気候変動の因果関係 Causal Link between Solar Magnetic Variability and Japanese Climate Anomalies during the Maunder Minimum

坂下 渉<sup>1\*</sup>, 横山 祐典<sup>1</sup>, 宮原 ひろ子<sup>2</sup>, 米延 仁志<sup>3</sup>, 大山 幹成<sup>4</sup>, 星野 安治<sup>4</sup>, 中塚 武<sup>5</sup>

SAKASHITA, Wataru<sup>1\*</sup>, YOKOYAMA, Yusuke<sup>1</sup>, MIYAHARA, Hiroko<sup>2</sup>, YONENOBU, Hitoshi<sup>3</sup>, Motonari Ohyama<sup>4</sup>, HOSHINO, Yasuharu<sup>4</sup>, NAKATSUKA, Takeshi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 東京大学宇宙線研究所, <sup>3</sup> 鳴門教育大学大学院学校教育研究科, <sup>4</sup> 東北大学学術資源研究公開センター植物園, <sup>5</sup> 名古屋大学環境学研究科

<sup>1</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup> Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo, <sup>3</sup> Graduate School of Education, Naruto University of Education, <sup>4</sup> Botanical Gardens, Tohoku University, <sup>5</sup> Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

太陽活動変動が気候変動に影響を与えるかという議論は、長い間行われている研究テーマの1つである。この問題を議論する上で、気候に影響を与えると考えられる太陽総放射・紫外線・銀河宇宙線の3つの要素をどのように区別するのか、という問題が存在している。本研究では、太陽総放射・紫外線とは異なる周期をもつ、太陽磁場変動に関連して変化する銀河宇宙線に着目し、他の2つの変動要素との区別を試みた。また、マウンダー極小期(A. D. 1645-1715)の太陽磁場負極性の活動極小期において、銀河宇宙線飛来量変動の増幅があったことが先行研究から報告されていることにも着目し、銀河宇宙線の気候変動への影響の評価を行った。

以上の評価を行うために、年代決定誤差なく、マウンダー極小期の太陽磁場変動と気候変動を直接比較できる樹木年輪セルロースの複数同位体( $^{14}\text{C}$ と $^{18}\text{O}$ )を用いた比較を行った。その結果、マウンダー極小期における北日本の気候変動記録を有した宮城県鹿島神社の樹木と、中部日本の気候変動記録を有した三重県伊勢神宮の樹木の酸素同位体比変動から、太陽磁場負極性の活動極小期の顕著な銀河宇宙線飛来量の増加に対応する1年スケールの急激な寒冷・湿润化が、北日本と中部日本の両方で、時間差なく起こっていたことが明らかになった。

キーワード: 太陽磁場活動, 銀河宇宙線, マウンダー極小期, 年輪同位体

Keywords: Solar Magnetic Activity, Galactic Cosmic Ray, The Maunder Minimum, Tree-ring isotope

## 宇宙線による雲凝縮核生成の室内検証実験

### Laboratory experiment for verification of cloud condensation nucleation by cosmic rays

増田 公明<sup>1\*</sup>, 伊澤 雄貴<sup>1</sup>, さこ 隆志<sup>1</sup>, 伊藤 好孝<sup>1</sup>, 松見 豊<sup>1</sup>, 中山 智喜<sup>1</sup>, 草野 完也<sup>1</sup>

MASUDA, Kimiaki<sup>1\*</sup>, IZAWA Yuki<sup>1</sup>, SAKO Takashi<sup>1</sup>, ITOW Yoshiyaka<sup>1</sup>, MATSUMI Yutaka<sup>1</sup>, NAKAYAMA Tomoki<sup>1</sup>, KUSANO Kanya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名大 S T E 研, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>STEL, Nagoya University, <sup>2</sup>JAMSTEC

太陽活動と地球気候の相関を説明するメカニズムの一つとして、電離誘起による凝縮核生成が提案されている。宇宙線の大気電離により生じるイオンがエアロゾル粒子の成長を促進し、雲凝縮核を生成して雲量の増加をもたらすという考えである。最近、このシナリオを検証する実験が計画され、あるいは進行しつつある。我々はこれらの先行実験を参考にしながら独自の検証を試みている。講演では我々の実験の方法を説明し、これまでの進捗状況を報告したのち、今後の見通しを議論する。

地球に到達する銀河宇宙線強度は太陽活動に起因する惑星間空間磁場の変動によるモジュレーションを受ける。地上の中性子モニターで測定したこの宇宙線強度の変化が、地球大気の下層雲量の変化とよく相関しているというのがこの議論の始まりである。雲量の測定、宇宙線データの解釈、相関のバイアスなど検討すべきことは多くあるが、実験的には室内で制御された条件で放射線と雲核生成の関係を調べることが効率的である。我々は大気中の反応を再現するための密封・排気可能な容器の中に大気組成を模した混合ガスを導入し、放射線や紫外線を照射して自然に近い状況を作り、その条件の変化に対するイオンとエアロゾル粒子の生成量を測定している。主に硫酸エアロゾルが有効であるとして、まず大気中に二酸化硫黄 SO<sub>2</sub> を元にして硫酸分子を生成させる。その硫酸分子に水分子が凝縮して大きく成長し、臨界サイズを越えると、雲凝縮核へと成長できることになる。

我々の装置は混合ガス調製装置、放射線及び紫外線照射が可能な反応容器、反応生成物測定装置群から成る。混合ガス調製装置では、純粋乾燥空気、水蒸気を含む湿潤空気、酸素ベースのオゾン、窒素ベースの SO<sub>2</sub> を混合する。これらのガスの流量を変えることにより反応容器内の各ガスの濃度を制御した。典型的な全流量は 5 L/min である。反応容器は直径 40cm、長さ 60cm の円筒型で、容積は 75L である。5L/min の流量で、ガスが一様に流れると仮定すれば、15 分程度でガスが入れ替わるはずである。反応容器では、放射線と紫外線を照射する。放射線は Sr-90 からのベータ線を使用した。ベータ線入射窓は 0.2mm 厚のステンレススチールで、窓と線源の間に 0.1mm 刻みのステンレススチール板を任意の枚数入れることにより容器内に入射する放射線量を変えることができる。紫外線入射窓は石英管で作られ、254nm の水銀ランプの紫外線が入射できるようになっている。現在は光量を制御していない。我々の実験ではまず硫酸分子を作ることを考えて、SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, オゾンを加えた空気に紫外線を照射した。その上でベータ線照射を行い、生成物の変化を測定した。測定したのは、オゾン濃度、SO<sub>2</sub> 濃度、イオン密度、凝縮粒子密度（直径 2.5nm 以上）、温度、湿度である。いくつかの条件下で得られたこれらの測定結果を報告する。

キーワード: 宇宙線, 太陽活動, 地球気候, 大気電離, エアロゾル, 雲生成

Keywords: cosmic rays, solar activity, global climate, atmospheric ionization, aerosol, cloud formation



## 奥州藤原氏の繁栄と気候変動 Prosperity of Oshu Fujiwara clan and climatic change

芹沢 浩<sup>1\*</sup>

SERIZAWA, Hiroshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 芹沢浩, <sup>2</sup> 雨宮隆, <sup>3</sup> 伊藤公紀

<sup>1</sup>Hiroshi Serizawa, <sup>2</sup>Takashi Amemiya, <sup>3</sup>Kiminori Itoh

昨年、世界文化遺産に登録された平泉は奥州藤原氏繁栄の地である。ここでは後3年の役が終結して清衡が清原家唯一の生残者として奥州支配の基礎を築いた1087年から源頼朝によって藤原氏が滅ぼされた1189年までを奥州藤原氏繁栄の時代としておくと、この平安時代後期から鎌倉時代にかけての約100年は地球規模で気温が上昇した中世温暖期としても知られている[1]。従来、奥州藤原氏の繁栄は東北地方に産出した多量の金によるというのが定説であり、それは確かだと思われる。しかし、金以外にも大鷲の尾羽やアザラシの皮などの北方特産物が京に献上され、前者は矢羽として、後者は馬具として平安貴族の間で珍重されたという記録もある。また、鎌倉時代の歴史書『吾妻鏡』には、清衡が「私には樺太やシベリアの民も付き従っている」と豪語したという記述もあり、遠く樺太やシベリアにまで至る交易路の存在もうかがえる[2]。実際、アムール川流域のナデジンスコエ遺跡から出土した断面がZ型の鉄の矢じりと同じ形のものが北海道の厚真町からも出土しているという事実もあり、この時期におけるシベリアとの文化交流の可能性は強く示唆される。一方で、江戸時代にシベリアに渡った大黒屋光太夫(1751-1828)や間宮林蔵(1780-1844)等の日本人記録によれば、当時の樺太、シベリアの気候は非常に寒冷であったことが推測される。そして、この時期はマウンダー極小期からドルトン極小期に至る地球規模での寒冷期、小氷期とも重なる[3],[4],[5]。逆に歴史を下れば、比較的温暖だった縄文時代の三内丸山遺跡におけるシベリア文化流入の痕跡なども指摘することができる。こうした状況を踏まえ、本発表では「地球の温暖期に、断続的に樺太を経由して北日本とシベリアとの間の交易路が形成され、大陸文化の流入が繰り返された」という日本文化史と気候変動を関連付ける新たな仮説を提示したい。

[1] Kobashi, T., Kawamura, K., Severinghaus, J.P., Barnola, J.-M., Nakaegawa, T., Vinther, B.M., Johnsen, S.J., Box, J.E. (2011). High variability of Greenland surface temperature over the past 4000 years estimated from trapped air in an ice core. *Geophysical Research Letters* 38:L21501.

[2] 五味文彦, 本郷和人, 西田友広 (2008~). 現代語訳 吾妻鏡. 吉川弘文館.

[3] 吉村昭 (2003). 大黒屋光太夫 (上下). 毎日新聞社.

[4] 山下恒夫 (2004). 大黒屋光太夫 帝政ロシア漂流の物語. 岩波新書.

[5] 吉村昭 (1987). 間宮林蔵. 講談社文庫.

キーワード: 江戸時代の小氷期, 奥州藤原氏, シベリアからの文化流入, 大黒屋光太夫, 中世温暖期, 間宮林蔵

Keywords: Little Ice Age in Edo period, Oshu Fujiwara clan, Inflow of Siberian culture, Daikokuya Kodayu, Medieval Warm Period, Mamiya Rinzou

## 教養科目における太陽地球相関理学プロジェクト Solar-Terrestrial Environment Project in Liberal Arts Education

横山 正樹<sup>1\*</sup>, 伊藤 公紀<sup>2</sup>

YOKOYAMA, Masaki<sup>1\*</sup>, ITOH, Kiminori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 和歌山大学宇宙教育研究所, <sup>2</sup> 横浜国立大学大学院工学研究院

<sup>1</sup>Institute for Education on Space, Wakayama University, <sup>2</sup>Graduate School of Engineering, Yokohama National University

2011年度、和歌山大学の教養科目として「宇宙プロジェクトマネジメント入門」授業を開講し、座学に終始しない実践的なプロジェクト型の授業を開始した。この授業は、宇宙に関連するテーマを用意するとともにチーム作業を通じて目標を達成することにより、プロジェクト全体を健全に動かすために必要な基礎力を養成することが目的である。本授業の中で筆者は「太陽地球相関理学プロジェクト」を担当した。本プロジェクトの目標は、学生たちの手により地球温暖化と太陽活動の関係について分かりやすい子供向けの冊子を制作することである。

本プロジェクトの受講生は1回生から3回生まで理工系と文科系の学生が混じった計7名であった。学生主体で行う具体的な作業内容としては、(1)学生のうち一人がチームリーダーを務め、目標達成のために必要な担当を置き、メンバーを振り分ける。(2)学生たちの手により約3ヵ月間かけて冊子の暫定版を完成させる。(3)完成させた冊子が小学生のレベルとしてふさわしい内容か吟味するため、小学校の児童の前でプレゼンテーションを行うとともに冊子に関するアンケート調査を実施する。(4)太陽活動と気候変動の関係に関する研究を行っている専門家によるレビューを受ける。(5)アンケートとレビューの結果を踏まえ改訂作業を繰り返し、最終的に冊子を完成させる。

本プロジェクトでは学生たちの手によりこれらの作業をすべて実施した。特に、大学近郊の小学校にて受講生が約60名の小学5年生を前にプレゼンテーションを行い、後日50名分のアンケートを回収することができた点は、子供の視点に配慮した冊子の完成度を高める上で大いに役立つものであった。プロジェクトを実施する大学生の教育と宇宙に興味・関心を持つ子供たちを向き合わせるにより両者の教育的需要を満たすプログラムが成立したと思われる。今後、太陽活動と気候変動の関係に関する研究の進展に可能な限り歩調を合わせ、積極的に文理融合型の授業の中に取り入れることによりプロジェクト型授業の改善と拡充を図っていく予定である。

キーワード: 太陽, 気候変動, 教育

Keywords: sun, climate change, education