

化学気候モデルと客観解析データを用いた太陽活動に伴う北極渦応答とその時間変化の解析

Response of the north polar vortex and its evolution to solar activity using chemistry-climate model and reanalysis data

山下 陽介^{1*}, 秋吉 英治¹, 高橋 正明²

YAMASHITA, Yousuke^{1*}, AKIYOSHI, Hideharu¹, TAKAHASHI, Masaaki²

¹ 国立環境研究所, ² 東京大学大気海洋研究所

¹National Institute for Environmental Studies, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

太陽活動の11年周期に伴い、紫外線域の太陽放射や赤道上部成層圏のオゾンや気温が変化する (e.g., *Lean et al.*, 1997; *Gray et al.*, 2009)。太陽活動極大期には、それが北半球中高緯度で初冬 (11~12月) に気温の南北勾配を強め、北極周辺の強い西風で特徴づけられる極渦をさらに強化すると考えられている (e.g., *Kodera and Kuroda*, 2002)。*Kodera and Kuroda* (2002) は、極渦強化が Brewer Dobson 循環やそれに伴うオゾン輸送や断熱加熱を変えて赤道域のオゾン・気温分布にも影響する可能性を示した。*Yamashita et al.* (2010) は、CCSR/NIES CCM を用いて太陽活動極大期と極小期の間の成層圏循環の違いを調べ、赤道域のオゾン・気温分布の成因を定量的に考察した。また、140年程度の連続計算結果があれば、太陽活動に対する成層圏の応答を再現可能であることを示唆した。

ところで極渦強度は、太陽活動11年周期の他に赤道成層圏準2年周期振動 (quasi-biennial oscillation: QBO) と関連して変化する傾向にある (e.g., *Labitzke and van Loon*, 1988)。QBOに伴い赤道50 hPa付近の東西風が西風 (東風) の場合、冬季を通じて平均的には極渦が強化 (弱体化) する傾向にあるため (e.g., *Holton and Tan*, 1980) 西風相の太陽活動極大期には極渦強化が推測される。実際、初冬には極渦の強化が解析されている (e.g., *Gray et al.*, 2004)。しかし1~2月 (晩冬) の西風相 / 極大期には極渦が弱体化する傾向にある (e.g., *Labitzke and van Loon*, 1988)。このように、冬季の中でも初冬と晩冬において太陽活動とQBOの極域への影響が異なる理由は、まだ十分には理解されていない。また、QBOに伴うプロセスが太陽活動に伴いどのように影響を受けるのかについても、明らかではない。

Yamashita et al. (2011) では、QBOの極域への影響に関し、これまで指摘されていた50 hPa付近のQBOに伴うプロセスのみならず、それより上空の10 hPa付近のQBOに伴うプロセスで極渦の変動が整合的に説明されることをCCSR/NIES CCMとJRA-25の結果を用いて示した。

本研究では、CCSR/NIES CCMの計算結果とJRA-25を用いて、*Yamashita et al.* (2011) で提案したQBOに伴うプロセスが、太陽11年周期に伴うプロセスとどのように関連して極渦に影響するのか、冬の期間をより細かい時間スケールに分けて解析し、そのプロセスを考察した。なお太陽活動の影響を再現するため、CCMで1960~2006年までの連続計算を3つ行い、138年間の冬季のデータを得た。

50 hPaのQBOの西風相と東風相、太陽活動の極大期と極小期により4つに分類し、JRA-25とCCM実験結果から4つのコンポジット平均を計算した。その結果、12月から1月にかけて極大期 (極小期) の西風相 (東風相) で極域下部成層圏の低温 (高温) 極渦の強化 (弱体化) 傾向が見られ、対応する中高緯度の波の上方伝播・散逸やBrewer Dobson循環の抑制 (促進) が見られた。これらのケースでは、QBOの応答と太陽活動の応答が似ており、QBOと太陽活動の応答が互いに強化されたと考えられる。さらに冬季全体について細かい時間スケールで調べると、極渦の位置や強さに対応する東西風のコンポジット偏差が中高緯度で極向き・下向きに移動する特徴が見られた。偏差の移動に伴い、2月頃には極大期の西風相で上部成層圏に東風偏差が現れた。これは極渦の弱体化に対応し、*Labitzke and van Loon* (1988) で見つかった晩冬の特徴と整合的であった。一方、極大期 (極小期) の東風相 (西風相) では、冬季を通し両者の応答が逆傾向で偏差が小さい、すなわち気候値からのずれが小さかったと考えられる。

以上の結果から、太陽活動とQBOの極域への影響は、初冬にはそれぞれの極域への影響の重ね合わせで議論できるが、それ以降は季節進行の中で波と平均流の相互作用を受けて変化することが考えられる。

キーワード: 中層大気, 太陽11年周期, 化学気候モデル

Keywords: middle atmosphere, 11-year solar cycle, chemistry-climate model

環境場はどのように台風サイズに影響を与えるのか？ How do environments affect the size of tropical cyclones?

筆保 弘徳^{1*}, Yuqing Wang², 大内和良³, 山田 洋平³, 佐藤 正樹⁴
FUDEYASU, Hironori^{1*}, Wang Yuqing², Kazuyoshi Oouchi³, YAMADA, Yohei³, SATOH, Masaki⁴

¹ 横浜国立大学, ² ハワイ大学, ³(独) 海洋研究開発機構, ⁴ 東京大学

¹Yokohama National University, ²University of Hawaii, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁴University of Tokyo

Along-standing issue on how environments affect the size of tropical cyclones is studied through a series of numerical experiments using the cloud-resolving tropical cyclone model, TCM4, and the global cloud-system-resolving model, NICAM. To first order, the primary circulation of a tropical cyclone can be considered as a warm-cored, quasi-axisymmetric vortex in gradient wind and hydrostatic balance. As a tropical cyclone evolves slowly while its primary circulation remains in gradient wind and hydrostatic balance, the secondary circulation (radial and vertical circulation) can be considered as a result of the response to both diabatic heating and momentum forcing including surface friction. The secondary circulation transports high absolute angular momentum inward to spin up the tropical cyclone primary circulation. This spin-up process can be well described by the Sawyer-Eliassen equation following the classic work of Eliassen (1952).

The balanced contribution to the intensification of a tropical cyclone simulated in TCM4, in particular the size of the cyclonic circulation, is investigated by solving the Sawyer-Eliassen equation and by computing terms in the azimuthal-mean tangential wind tendency equation. Results demonstrate that the azimuthal-mean secondary circulation and the spin-up of the mid-tropospheric outer circulation in the simulated tropical cyclone are well captured by balance dynamics. The mid-tropospheric inflow develops in response to diabatic heating in mid-upper tropospheric stratiform (anvil) clouds outside the eyewall in active spiral rainbands and transports absolute angular momentum inward to spin up the outer circulation. Although the azimuthal-mean diabatic heating rate in the eyewall is the largest, its contribution to radial winds and thus the spin-up of outer core circulation in the mid-troposphere is rather weak. This is because the high inertial stability in the inner core region resists the radial inflow in the mid-troposphere, limiting the inward transport of absolute angular momentum. The result thus suggests that diabatic heating in mid-upper tropospheric stratiform clouds is the key to the continued growth of the storm scale circulation.

The 7-km run using NICAM successfully simulated tropical cyclones that formed in three months from 1June to 31August 2004. A multi-scale interaction between tropical cyclones and environment has been investigated. It is clear that the size of tropical cyclones was sensitive to the environmental relative humidity. In a relatively moist environment, the tropical cyclone developed considerable precipitation (and thus diabatic heating) outside the core accompanied by significant outward expansion of the wind field and increase in size of tropical cyclones.

キーワード: 台風サイズ, 多重スケール相互作用, 全球非静力学モデル, 台風モデル

Keywords: tropical cyclone size, multi-scale interactions, NICAM, TCM4

太陽風の気象影響 - 対流圏・成層圏における気温と太陽風パラメータとの強い相関 Meteorological influence of the solar wind ? Strong correlation of the temperature and the solar wind parameters at the

松尾 慎也^{1*}, 伊藤 公紀¹

MATSUO, Shinya^{1*}, ITOH, Kiminori¹

¹ 横浜国立大学・環境情報研究院

¹Yokohama National University

我々の最近の検討は、太陽風が地表気温に影響することを明確にした [1, 2]。次に、その機構を探ることが必要である。太陽風と地表気温を繋ぐ領域として、磁気圏、熱圏、中間圏、成層圏、対流圏がある。ここでは、対流圏と成層圏の気温に注目した。

衛星測定気温データ (RSS) から、成層圏下部、対流圏上部～下部のグリッドデータを取得した。期間は 1979～2010 年である。太陽風パラメータとしては、 $P\alpha$ (磁気圏に取り込まれるエネルギー流束) などを用いた。 $P\alpha$ と相関の高い磁気擾乱指数 (aa 指数) も用いた。また、QBO の風向きで各年を分けた。 $P\alpha$ や aa 指数と地表気温との相関は、北極振動と地表気温の相関と類似していることが分かっていることから、北極振動指数を用いた検討も行った。

図 1 に、対流圏下部気温および成層圏下部気温と $P\alpha$ との相関地図の例を示す。具体的には、例えば各年の 1 月における平均気温と平均 $P\alpha$ 値を算出し、それらの年々変化の間の相関を計算した。QBO の風向き (東風と西風) で各年を分類すると、西風年と東風年で相関地図は明らかに異なった。

図 1a に示した例では、QBO 西風相に対して、1 月の成層圏下部気温と 1 月の $P\alpha$ との相関が、赤道域で大きい。aa 指数でも同様であった。

図 1b に示した対流圏下部の例では、QBO 東風相における 3 月での相関が高かった。このとき、ヨーロッパからシベリアにかけての地域での相関が強いなど、北極振動と気温の相関分布に近い特徴が見られた。

これらの知見から、磁気圏に取り込まれた太陽風のエネルギーや粒子が、成層圏と対流圏に影響を及ぼしていることは疑いない。また、その機構に QBO が関与していることが強く示唆される。

[1] 伊藤公紀、JpGU、2008～2011

[2] 伊藤公紀、松尾慎也、JpGU、2012

キーワード: 太陽風, 気温, 対流圏, 成層圏, QBO, 北極振動

Keywords: Solar wind, Temperature, Troposphere, Stratosphere, QBO, Arctic Oscillation

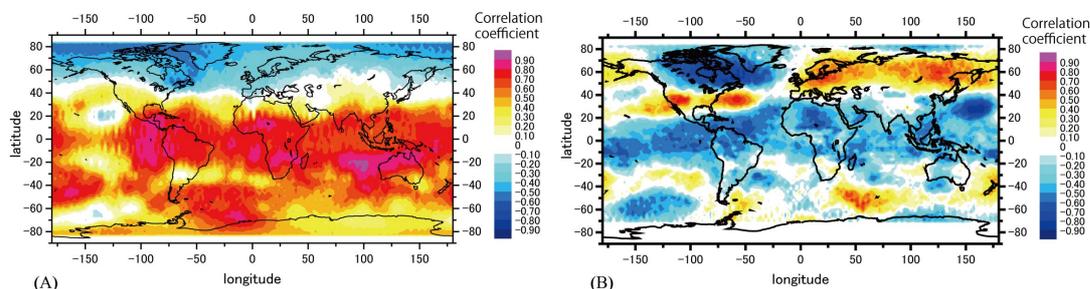


図 1. 気温と太陽風パラメータ間の相関地図。期間は 1979-2010。A は、成層圏下部気温と $P\alpha$ (太陽風から磁気圏に取り込まれるエネルギー流) との相関 (1 月)。QBO (熱帯成層圏成層圏準二年振動) は西風相。B は、対流圏下部気温と $P\alpha$ との相関 (3 月)。QBO は東風相。

日射量変動による気温の変化 - 2003年南極ドームふじでの皆既日食時の観測 - The effects of sudden insolation change on the air temperature during a total solar eclipse over Dome Fuji, Antarctica

亀田 貴雄^{1*}

KAMEDA, Takao^{1*}

¹ 北見工業大学社会環境工学科

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Kitami Institute of Technology

The Moon cast a long shadow over Antarctica on 23 November 2003 in a total solar eclipse. The eclipse was observed at Dome Fuji Station, located at the highest point of East Dronning Maud Land, Antarctica, and lasted 1 h 41 min 37 s in a cloudless condition, during which the Sun was completely obscured for 1 min 43 s. This was the first total solar eclipse to be observed in the Antarctic ice sheet. During the eclipse at Dome Fuji, the air temperature at 1.5 m above the snow surface and the subsurface snow temperature decreased by 3.0 K and 1.8 K, respectively. Estimated surface snow temperatures decreased by 4.6 K. Atmospheric pressure and wind direction did not change, but the wind speed possibly decreased by 0.3 m/s with decreasing air temperature; natural variations in wind speed before and after the eclipse made it difficult to identify a true effect of the solar eclipse. Variations of energy components (net shortwave and longwave radiations, sensible and latent heat fluxes, and geothermal heat) during the eclipse were investigated. The total loss of global solar radiation during the eclipse was 0.60 MJ m⁻², equaling 1.6% of the total daily global solar radiation. Regional effects of the eclipse due to a reduction of global solar radiation for air temperature and snow temperature ranged from 0.015 to 0.020 K (W m⁻²)⁻¹. We additionally examined the relation between eclipse obscuration (the fraction of the Sun's surface area occulted by the Moon) and the reduction of global solar radiation from the first to second contacts. The eclipse was also observed from space by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensors onboard NASA's Terra and Aqua satellites. The observational results of this study will contribute to detailed model calculations for clarifying the meteorological effects of eclipses.

キーワード: 日射量変化, 気温変化, 皆既日食, 南極, ドームふじ

Keywords: insolation change, air temperature change, total solar eclipse, Antarctic ice sheet, Dome Fuji

太陽画像データの解析に基づく、太陽紫外線放射量の活動周期変動の推定 Estimation of solar ultraviolet radiation derived from analyses of solar imaging data

浅井 歩^{1*}, 磯部 洋明¹, 上野 悟¹, 新堀 淳樹¹, 林 寛生¹, 横山 正樹², 塩田 大幸³

ASAI, Ayumi^{1*}, ISOBE, Hiroaki¹, UENO, Satoru¹, SHINBORI, Atsuki¹, HAYASHI, Hiroo¹, YOKOYAMA, Masaki², SH-IOTA, Daikou³

¹ 京都大学, ² 和歌山大学, ³ 理化学研究所

¹Kyoto University, ²Wakayama University, ³RIKEN

太陽紫外線放射は、地球の超高層大気変動を引き起こす要因の一つである。近年では、人工衛星などにより太陽の紫外線分光データが得られ、太陽活動周期にわたる長期の紫外線放射量変動の波長ごとの推定も行われている。しかし紫外線域では、太陽全面を空間分解した長期観測データが乏しく、紫外線放射の変動が太陽面のどの構造に起因するものなのか、わかっていない。一方、極端紫外線や X 線域においては太陽活動周期にわたる撮像観測データが蓄積されるようになってきたことで、太陽面の活動領域・コロナ輝点やコロナホールといった個々の領域ごとの太陽活動周期にわたる長期変動が調査可能となってきた。

また、超高層大気変動と地球大気との関連についてはさまざまな議論がある。特に Elias ら (2010 年) は、地磁気静穏日変動 (Sq 場) データから太陽活動の変動成分 (F10.7) を差し引いた量が近年増加傾向にあることを示し、CO₂ 増加による地球温暖化と熱圏寒冷化による影響が考えられる、と指摘した。しかし、太陽活動の指標として、超高層大気に直接影響を及ぼす太陽紫外線放射ではなく F10.7 電波放射を用いている、解析が近年の 30 年余りに限定されている、など、より詳細な解析が必要である。

そこで私たちは、人工衛星による太陽全面極端紫外線・紫外線撮像データを用いることでコロナホールや活動領域の明るさや面積の長期変動を詳しく調べ、それらを超高層大気変動 (Sq 場) などと比較することで、超高層大気への影響を及ぼす要因を空間分解された太陽面構造の中に求めている。

本講演では、これらの解析結果について紹介する。

キーワード: 太陽活動, 太陽紫外線放射

Keywords: Solar Activity, Solar UV Radiation

地球磁場の減少によって生じた気候寒冷化 Climatic cooling caused by a major weakening of the geomagnetic field

北場 育子^{1*}, 兵頭 政幸¹, 加藤 茂弘², David L. Dettman³, 佐藤 裕司⁴, 松下 まり子⁵

KITABA, Ikuko^{1*}, HYODO, Masayuki¹, KATOH, Shigehiro², David L. Dettman³, SATO, Hiroshi⁴, MATSUSHITA, Mariko⁵

¹ 神戸大学内海域環境教育研究センター, ² 人と自然の博物館, ³ アリゾナ大学, ⁴ 兵庫県立大学, ⁵ 人と森の研究所

¹ RCIS, Kobe University, ² Museum of Nature and Human Activities, ³ University of Arizona, ⁴ University of Hyogo, ⁵ Laboratory of Human and Forest

地球磁場が宇宙線量の変動を介して、気候に与える影響に関しては、多くの研究がなされてきたが、まだ依然として謎は多い。本研究では、2つの地磁気逆転を含む過去110万~70万年前の5つの間氷期(MIS 17, 19, 21, 25, 31)を中心にマルチプロキシによる古環境解析を行い、地球磁場が気候に与えた影響を定量的に評価した。

分析には大阪湾で採取された堆積物コアを使用した。この堆積物は、速い堆積速度(c. 50-70cm/kyr)を持つことに加え、堆積環境が氷河性海水準変動に支配されている。したがって、ミランコビッチの氷河理論による氷期-間氷期サイクルをよく記録している。ステージ17、21、25では、更新世中期以降、普通に見られるように、気候の最温暖期は氷床の融解が最も進んだ最高海面期と同位相で起こっている。しかし、ステージ19と31では、いずれも最温暖期は最高海面期の数千年後に起こり、最高海面期付近では寒冷化が起こっていた。この異常な寒冷化は、日射量変化でも説明できない。ステージ19と31の間氷期には、それぞれマツヤマ-ブリュンヌ地磁気逆転境界とハラミヨサブクロン開始期が位置している。この寒冷化は、いずれも地磁気逆転に伴う地磁気強度減少期に一致している。その時の地磁気の強さは現在の40%以下に減少しており、宇宙線量は約40%以上増加したと見積もることができる。モダンアナログ法を用いて花粉化石データから、当時の気温低下量は約1-4℃と見積もった。

時間分解能は粗いが、これまでに報告されている複数の古環境記録が、中・低緯度域にわたって、マツヤマ-ブリュンヌ境界およびハラミヨサブクロン下限の境界以前に気候が相対的に寒冷であった可能性を示唆している。ただし、南極氷床コアには、マツヤマ-ブリュンヌ地磁気逆転境界付近の寒冷化は記録されていないこと、寒冷期においても大阪湾で海水準が上昇していたことから、極域では地磁気や宇宙線の気候への影響はなかったかもしれない。

本研究結果は、地磁気の中・低緯度の気候に影響を与えた可能性が高いことを示している。

キーワード: 寒冷化, 地磁気逆転, 宇宙線, 古気候, 古海洋, 古地磁気

Keywords: cooling, geomagnetic reversal, cosmic ray, paleoclimate, paleoceanography, paleomagnetism

雲・降水システムの双安定性と宇宙線の気候影響に関するシミュレーション研究 Simulation study on bi-stability of cloud-rain system and cosmic ray influence on climate

草野 完也^{1*}, 島伸一郎², 長谷川晃一³
KUSANO, Kanya^{1*}, Shin-ichiro Shima², Koichi Hasegawa³

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究所, ³ (株) 中電シーティーアイ

¹ Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ² Graduate School of Simulation Studies, the University of Hyogo,

³ ChudenCTI Co., Ltd.

シュワーベサイクル(11年周期)や大極小期など太陽黒点活動の変動に伴って生じる気候変動に関しては未だにその物理メカニズムが十分理解されていない。このため、黒点活動に伴って変わる太陽輻射や銀河宇宙線などによって生じる気候変動メカニズムの研究が進められている。銀河宇宙線の太陽変調に伴って雲量が変化すると報告に基づいて、宇宙線による電離誘起核生成が雲量をコントロールするとする仮説が Svensmark & Friis-Christensen (1997) によって提案されている。最近、Kirkby et al. (2011) は CERN の加速器を用いた実験によって、温度と物質条件が整えられれば大気中でも電離誘起核生成が発生し得る可能性を示した。しかし、実験的に見出された 1.7nm 以上の核生成率 ($J_{1.7}$) は $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ 程度であり、その変化がどのように雲と気候に影響するのにはまだ良く分かっていない。

本研究では雲の生成・成長・消失過程からなる雲と降雨のダイナミクスが核生成率の違いに如何に依存するかを明らかにするため、独自に開発した超水滴法を用いてシステムティックな計算機シミュレーションを実施した。超水滴法は雲粒と雨粒を超水滴と呼ばれる計算粒子によって統一的に記述する新しい計算モデルである (Shima, Kusano et al. 2009)。本研究においては超水滴法を雲解像モデル CReSS (Tsuboki & Sakakibara 2006) に実装すると共に、動的にエアロゾルを生成することができる機能を開発し、中心半径 30nm の雲核生成率 J_{30} をパラメタとして、雲核の粒径分布が準平衡状態に至るまで計算を行った。なお、初期境界条件は RICO (Rain In Cumulus over the Ocean) プロジェクトにおいて与えられたデータセットを使った。

計算の結果、 J_{30} を $10^{-6} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ から $10^0 \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ まで変化してそれぞれの平衡状態を求めたところ、以下のような特徴的な変化を見出すことができた。すなわち、 $J_{30} = 10^{-3} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ 以下では雲核生成率の変化に係らず平均的な雲水の柱密度は 5gm^{-2} 程度を保っていたが、雲核生成率を $10^{-2} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ に増加すると雲水柱密度は 20gm^{-2} まで増加し、雲核生成率をさらに増加させてもその高い値を維持した。一方、雲核生成率が $10^{-3} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ 以下の場合、平均的な雨水柱密度は 6gm^{-2} でほぼ一定を保ったが、雲核生成率をさらに増加すると雨水柱密度は減少し、雲核生成率が $10^{-1} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ 以上の場合 1gm^{-2} 以下となった。これらの結果は雲核生成率が $10^{-3} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ を境に雲降水システムが異なる性質を持つ平衡状態を実現することを示唆している。1nm 程度の分子クラスターが雲凝結核まで成長する過程はまだ十分理解されていないため電離誘起核生成との定量的な関係については今後の課題であるが、この結果は宇宙線などによる微妙な微粒子生成の違いが雲の双安定状態の遷移を通して大きな環境変動を生み出す可能性を示唆するものであると考えられる。

キーワード: 雲, エアロゾル, 宇宙気候, 宇宙線, 超水滴, シミュレーション

Keywords: cloud, aerosol, space climate, cosmic ray, super-droplet, simulation

雲粒の粒径変化がもたらす気候変化 Climate change induced by changes in cloud droplet radius

大淵 済^{1*}, 力石 祐介², 鈴木 遼平², 草野 完也³, 田口 文明¹, 片岡 龍峰², 宮原 ひろ子⁴, 丸山 茂徳², 浜野 洋三¹
OHFUCHI, Wataru^{1*}, CHIKARAISHI, Yusuke², SUZUKI, ryohei², KUSANO, Kanya³, Bunmei Taguchi¹, KATAOKA, Ryuho²,
MIYAHARA, Hiroko⁴, MARUYAMA, Shigenori², HAMANO, Yozo¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京工業大学, ³ 名古屋大学, ⁴ 東京大学

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Tokyo Institute of Technology, ³Nagoya University, ⁴The University of Tokyo

マウンダー極小期などの寒冷な気候であった時期は、太陽の黒点数が少なかった時期と一致している。黒点数が少ない時期は太陽の活動度が低い、最近の太陽の11年周期の観測によると、太陽の全放射エネルギーはほとんど変化しない。一方、太陽の活動度が低いとき、地球大気に降り注ぐ銀河宇宙線の強度は大きい。いまだそのメカニズムは完全には明らかになっていないが、銀河宇宙線の強度の変化は、雲核となるエアロゾル量を変化させ、雲粒の粒径の変化などをもたらす可能性がある。そこで、大気放射に使われている雲粒の粒径を変化させ、三次元全球大気海洋結合モデルと鉛直一次元放射対流平衡モデルの数値シミュレーションを行った。それによると、雲粒の粒径を小さく(大きく)すると気候は寒冷化(温暖化)するという結果を得た。

イオン化放射が硫酸生成にもたらす影響 同位体的視点からの考察 An isotopic view on ionising radiation as a source of sulphuric acid

エングホフ マルティン³, ボーク ニコライ³, 服部 祥平^{1*}, メウシンガー カール², 中川 麻悠子¹, ペダーセン ジェンズ オ
アフ ペプケ³, ダニエラチェ セバスチアン¹, 上野 雄一郎¹, ジョンソン マシュー², 吉田 尚弘¹, スペンスマルク ヘンリッ
ク³

Martin B. Enghoff³, Nicolai Bork³, HATTORI, Shohei^{1*}, Carl Meusinger², NAKAGAWA, Mayuko¹, Pepke Pedersen Jens
Olaf³, DANIELACHE, Sebastian¹, UENO, Yuichiro¹, Matthew S. Johnson², YOSHIDA, Naohiro¹, Henrik Svensmark³

¹ 東京工業大学, ² コペンハーゲン大学, ³DTU 宇宙研究所

¹Tokyo Institute of Technology, ²University of Copenhagen, ³National Space Institute, Technical University of Denmark

Sulphuric acid is an important factor in aerosol nucleation and growth. It has been shown that ions enhance the formation of sulphuric acid aerosols, but the exact mechanism remains undetermined. Furthermore some studies have found a deficiency in the sulphuric acid budget, suggesting a missing source. In this study the production of sulphuric acid from SO₂ through a number of different pathways is investigated. The production methods are standard gas phase oxidation by OH radicals produced by ozone photolysis by UV light, liquid phase oxidation by ozone, and gas phase oxidation initiated by gamma rays. The distributions of stable sulphur isotopes in the products and substrate were measured using isotope ratio mass spectrometry. All methods produced sulphate enriched in ³⁴S and we find a

³⁴S value of 8.7 permil for the OH reaction. Only UV light (Hg emission at 253.65 nm) produced a clear nonmass-dependent excess of ³³S of around 0.3 permil. The pattern of isotopic enrichment produced by gamma rays is similar, but not equal, to that produced by aqueous oxidation of SO₂ by ozone. This, combined with the relative yields of the experiments, suggests a mechanism in which ionising radiation may lead to hydrated ion clusters that serve as nanoreactors for S(IV) to S(VI) conversion.

キーワード: 宇宙線, 硫酸, 安定同位体

Keywords: Cosmic ray, Sulphuric acid, Stable isotope

宇宙線 27 日周期変動と熱帯域雲活動

Possible influence of 27 day cosmic-ray variations on tropical cloud activity

宮原 ひろ子^{1*}, John P. Matthews², 高橋 幸弘³, 佐藤 光輝³, 宗像 一起⁴, 山敷 庸亮⁵, 増田 周平⁶, 片岡 龍峰⁷, 横山 祐典¹, Benjamin Laken⁸

MIYAHARA, Hiroko^{1*}, John P. Matthews², TAKAHASHI, Yukihiro³, SATO, Mitsuteru³, MUNAKATA, Kazuoki⁴, YAMASHIKI, Yosuke⁵, MASUDA, Shuhei⁶, KATAOKA, Ryuho⁷, YOKOYAMA, Yusuke¹, Benjamin Laken⁸

¹ 東京大学, ² 九州大学, ³ 北海道大学, ⁴ 信州大学, ⁵ 京都大学, ⁶ 海洋研究開発機構, ⁷ 東京工業大学, ⁸ カナリア天体物理研究所

¹The University of Tokyo, ²Kyushu University, ³Hokkaido University, ⁴Shinshu University, ⁵Kyoto University, ⁶Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁷Tokyo Institute of Technology, ⁸Instituto de Astrofísica de Canarias

Galactic cosmic rays (GCRs) are one of the possible mediators of Sun-climate connection; however, the detailed mechanism of their influence has not been solved. In order to trace the influence of cosmic rays on climate system, we analyzed the daily data of outgoing long-wave radiation (OLR) for AD1979-2004 and the data obtained from International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP), and compared them with neutron monitor data obtained at Oulu University. We find that high altitude cloud around the tropical regions shows a similar time profile with the variations of cosmic rays at around the time scale of solar rotations. At this time scale, the depletions of cosmic rays occur associated with solar flares and current sheet passages.

キーワード: 太陽自転周期, 宇宙線, 熱帯雲活動

Keywords: solar rotation, cosmic rays, tropical cloud activity

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

SHINBORI, Atsuki^{1*}, Koyama Yukinobu², Nose Masahito², Hayashi Hiroo¹, Hori Tomoaki³, Otsuka Yuichi³, Asai Ayumi⁴, Isobe Hiroaki⁴, Yokoyama Masaki⁶, UeNo Satoru⁵, Shiota Daikou⁷, Hada Yuko⁵, Kitai Reizaburo⁶, Tsuda Toshitaka¹

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

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

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

⁷RIKEN

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全球地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^{1*}, 小笠 博貴², 宮原 ひろ子³, 片岡 龍峰¹, 丸山 茂徳²

AZE, Takahiro^{1*}, OGASA, Hiroki², MIYAHARA, Hiroko³, KATAOKA, Ryuhō¹, MARUYAMA, Shigenori²

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

¹Interactive Research Center of Science, Tokyo Institute of Technology, ²Department of Earth and planetary sciences, Tokyo Institute of Technology, ³Institute 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^{1*}, 松尾 慎也¹

ITO, Kiminori^{1*}, Shinya Matsuo¹

¹ 横浜国立大学・環境情報研究院

¹Yokohama 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に欠けがあるので、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^{1*}

YAMASHITA, Kazuyoshi^{1*}

¹ 横浜国立大学大学院環境情報学府

¹ 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度程度ことな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^{1*}

SERIZAWA, Hiroshi^{1*}

¹ 芹沢浩, ² 雨宮隆, ³ 伊藤公紀

¹Hiroshi Serizawa, ²Takashi Amemiya, ³Kiminori 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^{1*}, 坂下 渉¹, 宮原 ひろ子², 横山 祐典¹, 青野 靖之³

YAMAGUCHI, Yasuhiko T.^{1*}, SAKASHITA, Wataru¹, MIYAHARA, Hiroko², YOKOYAMA, Yusuke¹, AONO, Yasuyuki³

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

¹AORI, The University of Tokyo, ²ICRR, The University of Tokyo, ³Osaka 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^{1*}, 横山 祐典¹, 宮原 ひろ子², 米延 仁志³, 大山 幹成⁴, 星野 安治⁴, 中塚 武⁵

SAKASHITA, Wataru^{1*}, YOKOYAMA, Yusuke¹, MIYAHARA, Hiroko², YONENOBU, Hitoshi³, Motonari Ohyama⁴, HOSHINO, Yasuharu⁴, NAKATSUKA, Takeshi⁵

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

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo, ³ Graduate School of Education, Naruto University of Education, ⁴ Botanical Gardens, Tohoku University, ⁵ 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(¹⁴Cと¹⁸O)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^{1*}, 伊澤 雄貴¹, さこ 隆志¹, 伊藤 好孝¹, 松見 豊¹, 中山 智喜¹, 草野 完也¹

MASUDA, Kimiaki^{1*}, IZAWA Yuki¹, SAKO Takashi¹, ITOW Yoshiyaka¹, MATSUMI Yutaka¹, NAKAYAMA Tomoki¹, KUSANO Kanya¹

¹ 名大 S T E 研, ² 海洋研究開発機構

¹STEL, Nagoya University, ²JAMSTEC

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 SO₂ 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 SO₂ 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、SO₂, H₂O, 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、SO₂ 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^{1*}

SERIZAWA, Hiroshi^{1*}

¹ 芹沢浩, ² 雨宮隆, ³ 伊藤公紀

¹Hiroshi Serizawa, ²Takashi Amemiya, ³Kiminori 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 Rinzo

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^{1*}, 伊藤 公紀²

YOKOYAMA, Masaki^{1*}, ITOH, Kiminori²

¹ 和歌山大学宇宙教育研究所, ² 横浜国立大学大学院工学研究院

¹Institute for Education on Space, Wakayama University, ²Graduate 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