

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651009

研究課題名（和文） 太陽磁気活動—気候相関のミッシングリンクを求めて

研究課題名（英文） A missing link between solar magnetic activity and climate

研究代表者

伊藤 公紀 (ITO KIMINORI)

横浜国立大学・環境情報研究院・教授

研究者番号：40114376

研究成果の概要（和文）：最近見出した太陽風パラメータと地表気温および北極振動との相関を手がかりとして、太陽磁気活動-気候相関のミッシングリンクに迫ることを目指した。成層圏気温と太陽風パラメータの相関を生む原因として、成層圏オゾンデータを利用した太陽風粒子降着についての検討が可能と判断された。そこでオゾン量のグローバルグリッドデータを用い、太陽風との相関を調査し、太陽風粒子が電離圏で生成する NO が成層圏に運ばれ、オゾンを減少させることにより、成層圏の気温を変調するという機構を提案した。

研究成果の概要（英文）：We investigated the missing link of solar magnetic activity-climate connection on the basis of our recent finding that solar wind parameters correlate well with temperatures and the Arctic Oscillation and correlation. As a cause to produce the correlation of stratosphere temperature and solar wind parameter, the study of solar wind particles accretion appeared realistic because of easy access to stratospheric ozone data. We investigated correlation between the solar wind and global grid data of the total ozone, and Thus, we have proposed a mechanism in which NO generated by solar wind particles in the ionosphere is transported to the stratosphere, to reduce the ozone, and to modulate the temperature of the stratosphere.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動、太陽の気候影響、北極振動、宇宙気候学

1. 研究開始当初の背景

太陽活動変動の気候影響は多くの論争を招いたが、現在、事実確認の段階から機構究明の段階へ入りつつある(Geller 2006)。太陽定数の変化が小さいことから、Svensmarkら(1997)は太陽風による銀河宇宙線の変動が雲量を変調する機構を提案し、加速器を用いる実験プロジェクト CLOUD による検証を試みている。一方、Kodera & Kudoda(2002)は、太陽紫外線強度の変化が 1%と大きいことに着目し、オゾン層の加熱を介した

亜熱帯ジェットの強化機構などを提唱した。Elsnerら(2010)によれば、太陽紫外線変動に伴う対流圏界面の高度変化が、ハリケーンの強度を変調する。これらの仮説とその検証を通じて、太陽変動の影響が成層圏に留まらず、様々な経路を通じて対流圏と地表に及ぶ、という認識は深まっている。しかし、太陽活動の気候影響の機構究明には依然、ブレークスルーとなる切り口が必要である。申請者が最近見出した、地磁気 aa 指数(太陽磁気活動の地球影響指標)と局所地表気温の相関(図 1)は、

そのような切り口になり得ると考えられる。

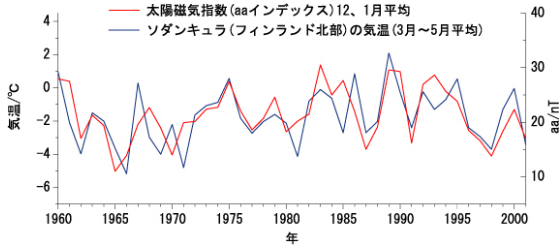


図1 aa 指数と地表気温の関係例

それは、aa 指数と気温の相関が、これまで知られている紫外線や宇宙線と気温の相関と違う特性を持つからである。

紫外線や銀河宇宙線の変動が、ほぼ黒点 11 年周期で決まっているのに対し、aa 指数の変動は大きく異なる。それは、太陽風の変動が黒点のみならずコロナホールが兆量しているためである。図 1 の結果は、太陽風の気候影響が明確なこと、また局所・短期の気象に反映している可能性を示しており、解析の幅を広げることができる。

2. 研究の目的

太陽活動変動の気候影響は、事実確認の段階から機構究明の段階に入りつつあるが、大きなブレークスルーは依然必要である。そこで、申請者が最近見出した地磁気 aa 指数(太陽磁気活動の地球影響指標)と地表気温および北極振動との相関を新たな切り口として、太陽磁気活動・気候相関のミッシングリンクに迫る。具体的には、太陽・電離圏相互作用(「宇宙天気」と、太陽・成層圏・対流圏相互作用(「宇宙気候」)のつながりの現象的な実態を明らかにし、その機構を検討・提案する。これにより、気候現象論の新しい地平としての太陽・気候相関研究の進展を図る。また異常気象の原因となるなど北半球の気候を支配し近年の温暖化信号の 40%を担うとされる北極振動の未知な機構解明にも資する。

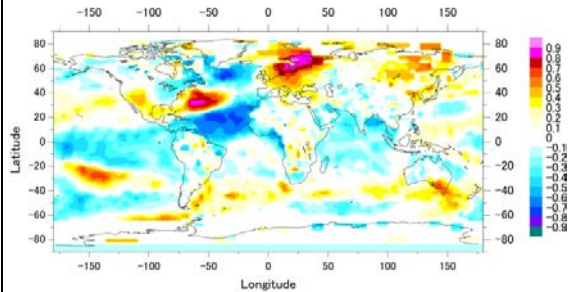
3. 研究の方法

まず基礎的知見の検討として、太陽磁気活動指標データと気象データによる相関地図解析、ならびに北極振動の大気力学モデルを基に、以下の A-E の各項目について検討を行う：A) aa 指数-気温(地表、対流圏、成層圏)相関の特性評価、B) 北極振動-大気圏相互作用の特性抽出、C) 太陽磁気活動と高層大気の相互作用の検討。これらの検討により、太陽磁気活動と大気圏の相互作用が「どこで、どのように」起きているのかを明らかにする。これらの検討に基づいて、太陽磁気活動-地球気候システム相互作用の整理、将来の課題の提案。特に、従来提案されてきた機構の可能性の検証を行うとともに、新しい機構の提案を行い、さらなる切り口に結びつける。

4. 研究成果

(1) 太陽磁気活動の地表気温への影響

図 2 に、磁気圏に取り込まれる太陽風エネルギー流束と地表気温の相関地図の例を示す。QBO 東風時にははっきりした正負の項相関地域が見られた。QBO 西風時には相関はずっと小さかった。



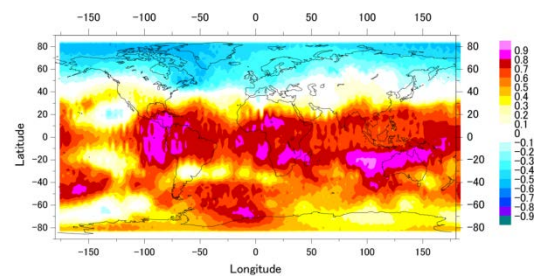
春地表T vs aa (Jan), QBO-E (Mar), 1960-2001

図 2 Pα (磁気圏に取り込まれる太陽風エネルギー流束、1 月)と地表気温(3-5 月平均)の相関地図(1960-2001)。QBO は東風時。

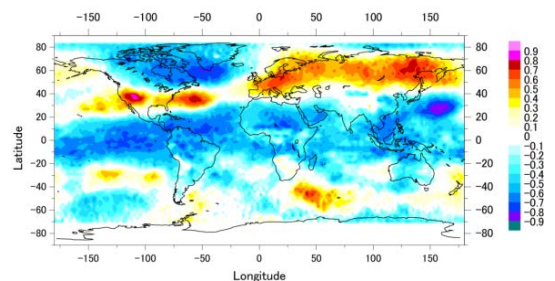
Pαの代わりに地磁気擾乱指数(aa 指数)を用いても、図 2 と同様な相関地図が得られた。従って、太陽風によって地球にもたらされる太陽磁気活動の影響が、地表気温を変調していることが明らかとなった。

(2) 太陽磁気活動の対流圏・成層圏への影響

図 3 に aa 指数と成層圏気温及び対流圏気温との相関地図を示す。



成層圏T(Jan) vs Pα(Jan) QBO-W, 1979-2010



3月対流圏下部T vs aa, QBO-E, 1979-2010

図 3 上は、aa 指数(1 月)と成層圏気温(1 月)の相関地図(1979-2010、QBO 西風)。下は、対流圏の場合(QBO 東風)。

冬の成層圏気温は QBO 西風時に aa 指数との相関が高かった。対流圏は QBO 東風時に相関が高かった。対流圏の相関地図パターンは、北極振動のパターンと良く類似していることから、太陽磁気活動は太陽風を通じて北極振動に作用していると考えられた。

(3)北極振動のモデル化

北極振動の成因については既に、順圧モデルの採用によって自由振動的な特性を見出し、固有振動数がゼロであることを示している。従って、北極振動は任意の外力により励起される可能性がある、太陽風の影響も取り込める可能性がある。本研究ではさらに、3次元傾圧モデルを構築し、北極振動と低緯度のジェット構造との相互作用を検討した。その結果、傾圧的不安定擾乱モードは、北極振動の正・負によって変調を受け、またそれにより北極振動は正のフィードバックを受けることが分かった。従って、太陽風と大気の相互作用が北極振動を変調するなら、それが北極振動を通じて低緯度のジェット構造の変調を引き起こす可能性があることが分かった。

(4)太陽風と大気との相互作用-オゾン関与機構の提案

図2~3のような太陽磁気活動-大気温相関の原因について以下のように考察した。

まず、太陽磁気活動の影響が、太陽風と大気の相互作用によるものなのか、太陽風による宇宙線変調によるものなのか、を区別することは重要である。「背景」でも触れたように、これは比較的容易に判別できると考えられる。図1及び(一連の類似データ)によれば、気温と aa 指数の相関が高く、場合によって相関係数は 0.9 以上に達し、気温変化が aa 指数及び $P\alpha$ の不規則な変化と良く対応することが観察された。これに対して、宇宙線強度は太陽黒点の 11 年周期に良く対応するので、図1に示されたような気温との相関は良くない。

もちろん、図1の相関に関して、太陽活動の 11 年毎のピークも寄与している可能性はあるが、まず太陽風と大気の相互作用により、図1~3の結果が生じていると判断するのは妥当であろう。

太陽風と地球大気の相互作用としては、オーロラジェット電流による加熱と、太陽風粒子の降着、が代表的であると考えられる。

オーロラジェット電流による大気加熱は、電離圏において大気膨張を引き起こすので、その影響が下層大気に伝播する可能性がある。これを検証するには、熱圏や中間圏の気温変化を知る必要があるが、残念ながら十分なデータの入手が難しいのが現状である。

太陽風粒子の降着は、NOの生成と輸送を

通じてオゾンの破壊を引き起こすと示唆されている。オゾン濃度の変化は、成層圏加熱の変化を通じて対流圏に影響するので、結局、太陽風の影響が対流圏/地表に伝播する可能性があることになる。幸いなことに、オゾン量については、全カラムオゾン量、という形でデータの入手は可能である。そこで、太陽風パラメータとオゾン量の相関を調べることにした。

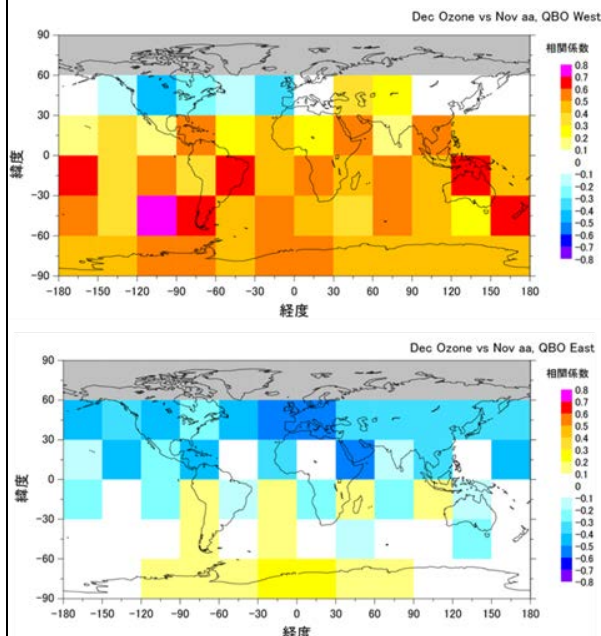


図5 全オゾン量(12月)とaa指数(11月)の相関地図(伊藤公紀、地球惑星科学連合大会 2013年)。上はQBO西風時、下はQBO東風時。

図5に例として、オゾンデータベースより得た全オゾン量(1979-2006年、12月)とaa指数(1979-2006年、11月)との相関地図を示す。グリッドは粗いが、全体の傾向としては、QBO西風時と東風時の違いが大きいことが分かる。西風時、全体では相関係数0.6以上、一部の地域では相関係数が0.7以上であった。QBO西風時、南半球でaa指数とオゾン濃度は正相関を示した。一方、QBO東風時、北半球では負相関となった。

この結果を、太陽風によってオゾンが増加することがある、と解釈することもできるが、通常の機構では説明できない。その理由を以下に示す。

NOの生成に至るような太陽風降着粒子と大気の相互作用は、図6に示したような過程に起因すると考えられている。

極付近から侵入する太陽プロトンと、一旦放射線帯に捕獲されて比較的low緯度地帯に降着する電子及びプロトンは、大気のイオン化を通じて効果的にNOを生じ、オゾン破壊に繋がると思われる。なお、極付近から侵入する宇宙線は、NO生成のピーク高度が低く、オゾン破壊よりもHNO₃の生成に繋がるとさ

れている。

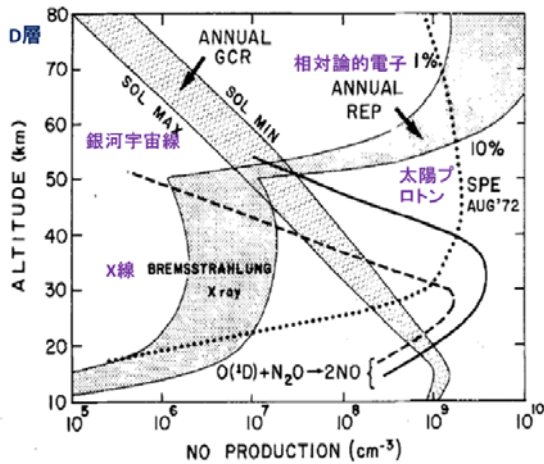


図6 NOx生成を引き起こす太陽風粒子過程。(伊藤公紀、地球惑星科学連合大会 2013 年、R. M. Thorne, Pageoph, 118, 128-151 (1980)を改変。

現時点での知見によれば、太陽風粒子の降着によりオゾンが増加することは考えにくい。ただし、オゾンの観測値の欠損が極地域で起きているので、図5の結果に関して、オゾン減少が十分に観測できていないためと解釈することは可能である。

このように、現象についての解釈の困難はあるものの、太陽風がオゾン分布に大きな影響(10%程度の増減)を引き起こしていることは確実と思われる。この影響の大きさは、紫外線強度変動の影響と同程度であり、無視できるものではない。

(5) 結論と今後の展望

本研究で示した結果は、太陽-電離圏相互作用(「宇宙天気」と、太陽-成層圏・対流圏相互作用(「宇宙気候」及び「宇宙気象」)の繋がりの現象的な実態を明らかにする手がかりとなるものである。

aa指数と地表気温の関係(図1)が、太陽風起源であることについては、気象学者からの異論もあった。それは、aa指数を決める電離圏の電導度が対流圏からの波動伝播で変調される可能性のためである。しかし、本研究で明らかになったように、aa指数の代わりに磁気圏に取り込まれる太陽風のエネルギー流束を用いても同様な結果(図2~3)が得られる。従って、aa指数と気温の相関は、太陽風の気候影響を示していることが確かめられた。

太陽風の気候影響を確立すると共に、その機構を検討することは本研究の大きな目標であった。太陽風と北極振動の関係を調査することにより、また、北極振動の理論的特性の調査により、機構解明のヒントとなる北極振動とQBOの関与について知見が得られたことは重要である。

aa指数と気温との相関には、aa指数と北極振動との相関と、北極振動と気温との相関が重なって含まれている。このとき、それぞれの相関にQBOが関与しており、aa指数から気温に至る過程には、QBOが二重に関与することになる。このような特徴は、本研究で初めて明らかになった。

QBOは準二年の振動であるため、黒点の11年周期の議論に取り込むことは難しい。短期・局所の影響を観測できるaa指数の使用が「新しい切り口」を与えた例であると言える。

機構に関しては、オゾンの関与を仮説として提案し、aa指数の変動によってオゾンの量や分布が変化している可能性を示した。

オゾン関与仮説の利点は、多数行われたオゾン層の研究の成果が利用できる可能性である。電離圏で生成したNOが下層大気に輸送され、オゾン層のオゾン量と、紫外線加熱を変調する。これなら、数値シミュレーションも比較的行いやすいのではないかと考えられる。今後の大きな課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

(1) H. L. TANAKA, Development of a Three-Dimensional Spectral Linear Baroclinic Model and its Application to the Baroclinic Instability Associated with Positive and Negative Arctic Oscillation Indices, Journal of Meteorological Society of Japan, 91 (2013) DOI:10.2151/jmsj.2013-207 (査読有)

(2) 伊藤公紀、それでも地球温暖化対策を信じますか、建築ジャーナル、No. 1203 (2012) 4-6 (査読無)

(3) 栗原崇、伊藤公紀、気候変動問題に適用し得る東洋型リスクマネジメントの考察、国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会誌、7 (2012) 61-72 (査読有)

(4) 伊藤公紀、CO2削減で日本家屋が作れなくなる?、日本エネルギー学会誌、91 (2012) 1209 (査読無)

〔学会発表〕(計12件)

(1) 伊藤公紀、太陽風の気候影響-成層圏オゾンが関与する機構の提案、太陽地球惑星科学連合大会 2013 年、(2013 年 05 月 20 日、千葉幕張メッセ)

(2) 荒瀧隆公、伊藤公紀、成層圏オゾンに対

する太陽風の影響、太陽地球惑星科学連合大会 2013 年、(2013 年 05 月 20 日、千葉幕張メッセ)

(3) 芹澤浩、雨宮隆、伊藤公紀、Poisson 方程式による雷のシミュレーションとそのエントロピー論的考察、太陽地球惑星科学連合大会 2013 年、(2013 年 05 月 20 日、千葉幕張メッセ)

(4) 山下和良、伊藤公紀、対流圏及び成層圏の気温に対するオゾン全量と太陽風の影響、太陽地球惑星科学連合大会 2013 年、(2013 年 05 月 20 日、千葉幕張メッセ)

(5) 栗原崇、伊藤公紀、シナリオ・プランニング手法による気候変動問題の今後、国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会、(2013 年 05 月 20 日、東京農工大)

(6) 伊藤公紀、太陽風の気候影響と、成層圏オゾンの関与の可能性、第 3 回「太陽活動と気候変動の関係」に関する名古屋ワークショップ (招待講演)、(2013 年 02 月 26 日、名古屋大学)

(7)伊藤公紀、松尾慎也、太陽風の気象影響 - 地表気温と aa 指数の相関と QB0 の関与、太陽地球惑星科学連合大会 2012 年(2012 年 05 月 23 日、千葉幕張メッセ)

(8) 松尾慎也、伊藤公紀、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、太陽地球惑星科学連合大会 2012 年(2012 年 05 月 23 日、千葉幕張メッセ)

(9) 芹澤浩、伊藤公紀、奥州藤原氏の繁栄と気候変動、太陽地球惑星科学連合大会 2012 年(2012 年 05 月 23 日、千葉幕張メッセ)

(10) 山下和良、伊藤公紀、対流圏及び下部成層圏の気温に対する太陽風の影響、太陽地球惑星科学連合大会 2012 年(2012 年 05 月 23 日、千葉幕張メッセ)

(11) 横山正樹、伊藤公紀、教養科目における太陽地球相関理学プロジェクト、太陽地球惑星科学連合大会 2012 年(2012 年 05 月 23 日、千葉幕張メッセ)

(12) 栗原崇、伊藤公紀、気候変動問題に適応し得る東洋型リスクマネジメントの考察、国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会(2012 年 04 月 21 日東京農工大)

〔図書〕(計 1 件)

伊藤公紀、松田裕之、及川敬貴、茂岡忠義、アジア視点の生態リスク管理手法、小池文人他編著「生態系の暮らし方」中、東海大学出版会 (2012) 223-234

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 公紀 (ITOHI KIMINORI)
横浜国立大学・環境情報研究院・教授
研究者番号：40114376

(2) 研究分担者

田中 博 (TANAKA HIROSHI)
筑波大学・生命環境学系・教授
研究者番号：70236628

(3) 連携研究者

()

研究者番号：