

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月19日現在

機関番号： 82109

研究種目： 基盤研究(B)

研究期間： 2008～2011

課題番号： 20340131

研究課題名（和名）

太陽紫外線とオゾン変化の力学的上下結合と気候変動に果たす役割の解明

研究課題名（英文） Role of solar UV and ozone on the stratosphere-troposphere  
Coupling and the climate change

研究代表者

黒田 友二 (KURODA YUHJI)

気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究官

研究者番号： 80343888

研究成果の概要（和文）：観測データおよび化学気候モデルの解析から、太陽活動が高まり太陽紫外線強度が強くなっている場合には、南半球の極渦が崩壊し夏の気候に変化する季節である晩冬/春期に、太陽紫外線が弱い場合に比べ有意に成層圏の帯状平均東西風の偏差信号が極向き下向きに対流圏まで下降する極夜ジェット信号(PJO)が明瞭となり、対流圏下層に南半球環状モード(SAM)が形成されやすくなることが分かった。さらに、このような気候変化が引き起こされるメカニズムとしては、モデルデータの解析から、太陽紫外線が強い場合には成層圏のオゾン濃度と気温が高まることを通じて波平均流相互作用が強化されることで成層圏信号の増幅がおこることが原因であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Effect of the solar Ultra-Violet radiation (UV) on the Southern Annular Mode (SAM) was examined through the analysis of observational data and simulations of a chemistry-climate model. When the solar activity is higher and the UV is stronger, the Polar-night Jet Oscillation (PJO), which is the dominant mode of variability of the stratosphere-troposphere coupled system in late winter/spring, is found to be more enhanced and stronger SAM signal is created at the surface. Analysis of simulations of chemistry-climate model with changing UV strengths suggests that such solar UV-SAM relationship was created through enhanced wave-mean flow interaction originated from increases of ozone and temperature in the stratosphere under high solar UV condition.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2011年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：太陽活動、紫外線、オゾン、成層圏対流圏結合、気候変動

## 1. 研究開始当初の背景

現在、人間活動に伴う気候変動の予測が非常に重要な課題となってきた。そのためにはまずは自然起源の気候変動の理解が欠かせない。気候変動の最も基本的な要因として

太陽活動の変動自体を原因とするものが考えられるが、今までの研究から太陽活動の変動に伴う数々の有意な気候変動が解析されてきた。このような太陽活動が気候変動を誘起する原因として、太陽活動に伴う太陽紫外

線強度の変化や太陽や銀河を起源とする宇宙線の効果などが考えられているが、現在のところ気候変化を引き起こすメカニズムについてはほとんど分かっていないという状態にある。そこで太陽活動による気候変動のメカニズム解明は国際的にも重要な課題となっており、研究分担者の小寺が共同代表者を務める SOLARIS グループをプラットフォームにするなどして現在世界的にも活発な研究が進められている。

## 2. 研究の目的

本研究では、太陽活動に伴う気候変化の要因が太陽紫外線の強度変化とそれに伴うオゾンの変動であると考え、気象場およびオゾンの観測データの解析と化学気候モデルによる数値実験を相互に組み合わせることにより、観測されるような紫外線変動がオゾン変化を通じて気候変動を生み出していくメカニズムについて明らかにすることを目的とした。特に南半球の代表的な半球規模である変動である南半球環状モード (SAM) を通じた変動への影響について詳しく調べた。

## 3. 研究の方法

本研究では、観測データの解析と化学場と気象場を相互作用させた数値モデルである化学気候モデルの解析、およびそれらの比較を通じて問題の解決を図るという方法を取った。そのための観測の気象データとしては、ヨーロッパ中期予測センター (ECMWF) 作成の気象場の再解析データである ERA-40 および ERA-Interim を用いた。他方オゾン場としては、米国 NASA が衛星観測したデータを結合した OMI-SBUV データを使用した。化学気候モデルは、気象研究所で開発された数値モデルを気候値海面水温の境界条件の元で使用した。観測データは、太陽活動を表す指標である波長 10.7cm の月平均したマイクロ波強度である F10.7 指数を用いて太陽活動を定義し、全データを太陽活動指数を用いて分割することにより、太陽活動の気候への影響を調べた。他方化学気候モデルを用いたモデル実験では、観測された太陽活動の強度に相当する紫外線強度を一定のまま与え続けることによって長期にわたる高太陽活動と低太陽活動の気候状態を別々に作ることで、紫外線強度変化の気候への影響について調べた。

## 4. 研究成果

まず、南半球晩冬期の活動期 (10/11月) における南半球環状モード (SAM) の太陽活動による影響を、赤道準 2 年振動 (QBO) による影響と共に ERA 40 と interim データを結合させた 1968 年～2007 年のデータ解析から調べた。特に衛星観測が始まって

からのより観測精度が高まったと考えられる 1979 年～2007 年に限ったデータでも同様な解析を行った。後者の期間では同期間存在する衛星観測データを結合させた OMI-SBUV オゾンデータも合わせて用いることによって、SAM の変化に果たすオゾンの役割についても調べた。まず、太陽活動の影響であるが、極渦崩壊期である 10 - 11 月平均した SAM 指数と各月の帯状風の相関を計算したところ、高太陽活動期 (HS) には高相関域が上部成層圏へと延びるとともに引き続く夏季にも大きな相関を持つが、低太陽活動期 (LS) は高相関域の伸びは小さく持続性も殆どないことが分かった (図 1)。このように太陽活動の SAM を通じた気候への影響は非常に大きいことが分かった。他方 QBO の影響については、赤道 50hPa レベルで西風位相 (W) の場合には上部成層圏へと延びる時期が早まる代わりに夏季との相関は殆どないが、東風位相 (E) では上部成層圏へと延びる時期が遅くなる代わりに引き続く夏季と大きな相関を持つことが分かった。以上は両方の期間で共通して見られた。また、QBO と太陽活動両方の効果を考慮した場合には、両者線形重ね合わせ的な性質が得られること、言い換えると太陽活動と QBO がそれぞれほぼ独立な要因として SAM を通じた気候変動を引き起こしていることが分かった。また、オゾンとの関係については、正の SAM の場合に HS では高緯度の全量オゾンや下部成層圏温度が負の偏差を持ち、またそれが 1 月頃まで有意に持続するが、LS ではそのような長い持続性がないということが分かった。また、QBO-E では、気候値的に下部成層圏のオゾン量が多く、また全オゾンで見た場合の持続性は低いものの、下部成層圏でオゾン偏差が持続し、下部成層圏温度の持続性も高いことが分かった。このことは、下部成層圏オゾンが SAM の持続性について特に重要な役割を果たしていることを示していると考えられる。

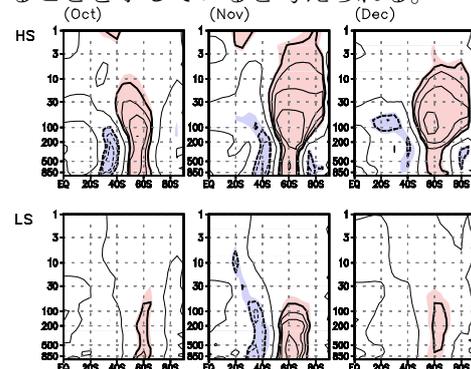


図 1. 太陽活動指数 F10.7 に従って全期間を高太陽活動期 (HS) と低太陽活動期 (LS) に二分し、10 - 11 月平均した SAM 指数との各月緯度高度の帯状風との相関を示したもの。影は 95% 有意な領域、コンターは相関係数 0.5 を太線とし、それ以上の領域に 0.1 ごとに引いた。

しかし上述のような観測データの解析のみでは「太陽活動」の実体が紫外線なのか他の要因、例えば宇宙線なのかが不明である。さらに、太陽活動でデータを分けていてもその変動の要因が本当に太陽活動だけかどうかさえも不明である。例えば気候変動の真の要因が太陽活動と時間的にたまたま同期した他の要因、例えば火山噴火の影響などである可能性も否定できない。そこで、紫外線変化がオゾン変動を通じて気候変化を生み出す効果を純化して直接調べ、その結果を観測データと比較するために、気象研究所の化学気候モデルを用いた数値実験を行った。この実験設定では外的要因として紫外線変化以外のものを全く含めていないので得られた気候変化の要因を特定することができる。実験では紫外線の影響を際立たせるため、紫外線強度のみを観測された平均的な太陽活動の低い状態 (LS)、高い状態 (HS)、さらに HS に対して LS との比だけさらに人工的に紫外線強度のみを強めた状態 (US) 3 通りに固定し、気象研究所の化学気候モデルを用いてそれぞれ 4 2年のランを実行した。そのうえで、観測データと同様な極渦崩壊期の SAM と帯状風の関係を調べることで紫外線強度変化が南半球環状モードに与える影響およびそのメカニズム解明の解析を行った。

まず、モデルの気候を調べたところ紫外線強度に関係なく、すべてのランで極渦崩壊期が観測より 1 か月遅れる傾向が見出された。そこで観測と対応する極渦崩壊期である 1 1月 - 1 2月平均した SAM 指数と帯状風の相関を計算したところ、モデルは紫外線強度が高いほどモデルでの極渦崩壊期に成層圏の帯状風との相関が高くなり、またさらに SAM 信号自体が持続しやすい傾向にあることが分かった。このことから、モデルは観測と同様な SAM と気候変化を良く再現していることが分かった。そこで次に 1 2月の成層圏 30hPa で定義される成層圏環状モード (S-SAM) 指数に対してのラグ回帰解析を行ったところ、1 0月では紫外線強度に関わらず全てのランで極渦が強い状態であるが、各ランで時間発展の仕方が異なり、紫外線が強いランほど極渦の極向き下向きの変動である極夜ジェット振動 (PJ0) が卓越し 1 2月には対流圏から成層圏まで伸びた極渦ができやすいことが分かった。そこで今度は反対に 1 0月の卓越変動を元にした信号の関係性を調べるために、1 0月の帯状風と EP フラックスの鉛直成分間で統計的関連性が一番強いモード (SVD1) を抽出し、このモードを元にしたラグ回帰解析を行った (図 2)。その結果、1 0月には各ランは共に中緯度高高度で極渦が強い状態であるが、その時間発展が各ラン

で異なってきて紫外線が強いランほど明瞭に下方伝搬する傾向があることが示された。

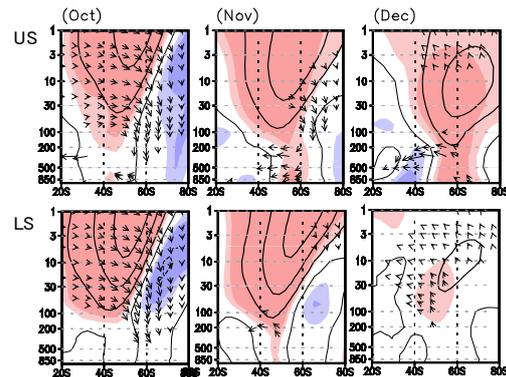


図 2. US ラン (上) および LS ラン (下) において、それぞれの 10 月の鉛直 EP フラックスと帯状風間の卓越モード (SVD1) に対して回帰した各月の帯状風 (コンター) 及び EP フラックス (矢)。コンター間隔は 2m/s、影は 99.5/95% に施してある。EP フラックスは 95% 以上有意な領域のみに描いた。

そこで、紫外線が強いランほど PJ0 が卓越する理由を調べるため帯状ハフ関数モデルを用いた各フォーシングの帯状風加速に与える影響を調べた。その結果、紫外線強化ランほど特に下層大気での波加速が強まって波と平均流相互作用が強化されているということが直接の原因であることが分かった。ところで紫外線が強いほど波平均流相互作用が強まる理由としては波動生成そのものが増えているということが考えられる。そこで、帯状風から波動が形成されるエネルギー変換量について調べた。その結果、平均場から波動へのエネルギー変換が紫外線を強化したランほど特に下層大気で大きくなっていることが分かった。以上より、紫外線が強いほど PJ0 が卓越する理由として次のようなメカニズムが考えられる。①紫外線が強いほど気候的には成層圏のオゾンが多くなりまた気温が高く安定度も高くなる。②晩冬期に卓越する成層圏の波平均流相互作用に伴って子午面循環の変動が起き、緯度方向のオゾンの濃淡が生じる。③力学的な変動に伴うオゾン変動の短波に伴う加熱変動はオゾン濃度が大きな高紫外線ランの方が大きくなる。④その結果 PJ0 の成層圏部分の変動は温度風の関係から高紫外線の場合ほどよりピークが極よりの傾向になる。⑤成層圏の風が 60 度付近にある場合に最も対流圏の変動が誘起されやすいため、高紫外線ランの場合ほど対流圏で傾圧変換が盛んになり、波動がより形成される。⑥より沢山作られた波動がより強い波平均流相互作用を引き起こすことにより、成層圏の変動が対流圏まで下降することになる。以上のように、紫外線がオゾン変動を引き起こして SAM に関連した気候変動を引き起こすということが分かった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 27 件) (全て査読有り)

1. Wang, L, K. Kodera, and W. Chen (2012), Observed triggering of tropical convection by a cold surge: Implications for MJO initiation, *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, doi:10.1002/qj.1905.
2. Kodera, K., N. Eguchi, J-N. Lee, Y. Kuroda, and S. Yukimoto (2011), Sudden changes in the tropical stratospheric and tropospheric circulation during January 2009, *J. Meteorol. Soc. Jpn*, 89, 283-290, doi:10.2151/jmsj.2011-308.
3. Kuroda, Y., and H. Mukougawa (2011), Role of medium-scale waves on the Southern Annular Mode, *J. Geophys. Res.*, 116, D22107, doi:10.1029/2010JD016293.
4. Kodera, K., H. Mukougawa, and Y. Kuroda (2011), A general circulation model study of the impact of a stratospheric sudden warming event on tropical convection, *SOLA*, 7, 197-200, doi:10.2151/sola.2011-050.
5. Kobayashi, C and K. Shibata (2011), Evaluation of dynamical contribution to lower stratospheric ozone trends in northern mid-latitudes over the last three decades (1980-2006) using a chemical transport model, *J. Meteorol. Soc. Jpn*, 89, 363-376. doi:10.2151/jmsj.2011-405.
6. Hardiman S. C., K. Shibata (15 番目), 他 13 名 (2011), Improved predictability of the troposphere NA0 using stratospheric final warmings, *J. Geophys. Res.*, 116, D18113, doi:10.1029/2011JD015914.
7. Strahan, S. E., K. Shibata (28 番目), 他 30 名 (2011), Using transport diagnostics to understand Chemistry Climate Model ozone simulations, *J. Geophys. Res.*, 116, D17302, doi:10.1029/2010JD015360.
8. Bais, A. F., K. Shibata (24 番目), 他 24 名 (2011), Projections of UV radiation changes in the 21st century: impact of ozone recovery and cloud effects, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 10769-10797, doi:10.5194/acpd-11-10769-2011.
9. Kodera K., N. Eguchi, J-N. Lee, Y. Kuroda, and S. Yukimoto (2011), Sudden Changes in the tropical stratospheric and tropospheric circulation during January 2009, *J. Meteorol. Soc. Jpn*, 89, 283-290, doi:10.2151/jmsj.2011-308.
10. Kuroda, Y., and K. Yamazaki (2010), Influence of the solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode, *Geophys. Res. Letters*, 37, L12703, doi:10.1029/2010GL043252.
11. Kuroda, Y. (2010), High initial-time sensitivity of medium-range forecasting observed for a stratospheric sudden warming, *Geophys. Res. Letters*, 37, L16804, doi:10.1029/2010GL044119.
12. Morgenstern, O., K. Shibata (28 番目), 他 32 名 (2010), Anthropogenic forcing of the Northern Annular Mode in CCMVal-models, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M03, doi:10.1029/2009JD013347.
13. Morgenstern, O., K. Shibata (3 番目), 他 38 名 (2010), Review of the formulation of present generation stratospheric chemistry-climate models and associated external forcings, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M02, doi:10.1029/2009JD013728.
14. Butchart, N., K. Shibata (28 番目), 他 28 名 (2010), Chemistry-climate model simulations of 21st century stratospheric climate and circulation changes, *J. Clim.*, 23, 5349-5374, doi:10.1175/2010JCLI3404.1.
15. Eguchi, N., and K. Kodera (2010), Impacts of stratospheric sudden warming event on tropical clouds and moisture fields in the TTL: A Case Study, *SOLA*, 6, 137-140, doi:10.2151/sola.2010-035.
16. Inaba, M and K. Kodera (2010), Forecast study of the cold December of 2005 in Japan: Role of Rossby waves and tropical convection, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 88, 719-735. doi:10.2151/jmsj.2010-405.
17. Kodera, K. (2010), Change in the ENSO teleconnection characteristics in the boreal winter, *SOLA*, 6A, 021-024. doi:10.2151/sola.6A-006.
18. Mukougawa, H., T. Hirooka and Y. Kuroda (2009), Influence of Stratospheric Circulation on the Predictability of the Tropospheric Northern Annular Mode, *Geophys. Res. Letters*, 36, L08814, doi:10.1029/2008GL037127.
19. Gettelman, A., K. Shibata (11 番目), 他 15 名 (2009), The tropical tropopause layer 1960-2100, *Atmos. Chem. Phys.*,

- 9, 1621-1637.  
www.atmos-chem-phys.net/9/1621/2009/
20. Austin, J., K. Shibata (17 番目), 他 20 名 (2009), Coupled chemistry climate model simulations of stratospheric temperatures and their trends for the recent past, *Geophys. Res. Lett.*, *36*, L13809, doi:10.1029/2009GL038462.
  21. Kuroda, Y. (2008), Role of the stratosphere on the predictability of medium-range weather forecast. A case study of winter 2003-2004, *Geophys. Res. Letters*, *35*, L19701, doi:10.1029/2008GL034902.
  22. Kuroda, Y. (2008), Effect of stratospheric sudden warming and vortex intensification on the tropospheric climate, *J. Geophys. Res.*, *113*, D15110, doi:10.1029/2007JD009550.
  23. Kuroda, Y., K. Yamazaki, and K. Shibata (2008), Role of ozone on the solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation, *J. Geophys. Res.*, *113*, D14122, doi:10.1029/2007JD009336.
  24. Shibata, K. and M. Deushi, Long-term variations and trends in the simulation of the middle atmosphere 1980-2004 by the chemistry-climate model of the Meteorological Research Institute, *Annales Geophysicae*, *26*, 1299-1326.  
www.ann-geophys.net/26/1299/2008/
  25. Tourpali, K., K. Shibata (21 番目), 他 19 名 (2008), Clear sky UV simulations in the 21<sup>st</sup> century based on ozone and temperature projections from chemistry-climate models, *Atmos. Chem. Phys.*, *9*, 1165-1172.  
www.atmos-chem-phys.net/9/1165/2009/
  26. Austin, J., K. Kodera (14 番目), K. Shibata (20 番目), 他 20 名 (2008), Coupled chemistry climate model simulations of the solar cycle in ozone and temperature, *J. Geophys. Res.*, *113*, D11306, doi:10.1029/2007JD009391.
  27. Kodera, K., H. Mukougawa, and S. Itoh (2008), Tropospheric impact of reflected planetary waves from the stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, *35*, L16806, doi:10.1029/2008GL034575.
- [学会発表] (計 69 件) (主要のみを記述)
1. Kuroda, Y.: Role of Ultra-violet radiation on the stratosphere-troposphere coupling of the Southern Annular Mode, The 2<sup>nd</sup> Nagoya workshop on the relationship between solar activity and climate change, 2012.1.17 Nagoya, Japan
  2. Shibata, K.: Solar Signals in MRI-CCM Simulations under Transient Forcings for SST and GHGs but a Perpetual Solar Max Condition, The 2<sup>nd</sup> Nagoya workshop on the relationship between solar activity and climate change, 2012.1.16 Nagoya, Japan
  3. Kodera, K., K. Matthes: Solar influence on the Earth's surface through stratospheric dynamical processes, The 2<sup>nd</sup> Nagoya Workshop on the Relationship between Solar Activity and Climate Changes, 2012.1.16-17 Nagoya, Japan
  4. Kuroda, Y. and H. Mukougawa: Role of medium-scale waves on the Southern Annular Mode, AGU Fall meeting, 2011.12.9, San Francisco, USA
  5. Kodera, K., K. Matthes, Global aspect of the QBO modulation of the solar influence on the stratosphere, WCRP Open Science Conference, 2011.10.24-28, Denver, USA
  6. Kuroda, Y.: Impact of stratospheric sudden warming on the predictability of tropospheric NAM variability, IUGG General Assembly, 2011.7.4 Melbourne, Australia
  7. Kuroda, Y. and H. Mukougawa: Role of medium-scale waves on the Southern Annular Mode, IUGG General Assembly, 2011.6.30 Melbourne, Australia
  8. Kodera, K., Non-linear interaction of the solar forcing in the boreal winter, 2011.6.28-7.7, IUGG General Assembly, Melbourne, Australia
  9. Deushi, M., and Y. Kuroda, Effects of stratospheric ozone on polar-night jet oscillation revealed with ensemble forecasts using a chemistry-climate model, IUGG General Assembly 2011.6.28-7.7, Melbourne, Australia.
  10. Deushi, M., and Y. Kuroda, Role of the stratospheric ozone on the medium-range weather forecast: A case study of northern winter 2003-2004, SPARC DynVar Workshop, 2010.11.2, Boulder USA
  11. Kuroda, Y. and K. Yamazaki: Influence of the solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode, SCOSTEP Symposium STP12, 2010.7.12-16, Berlin, Germany
  12. Shibata, K. and M. Deushi: Effect of sea

- surface temperature on the solar signal in the stratosphere and troposphere as revealed by chemistry-climate model simulations from 1960 to 2006, SCOSTEP Symposium STP12, 2010. 7. 12-16, Berlin, Germany
13. Kodera, K., Solar influence on the stratosphere, SCOSTEP Symposium STP12, 2010. 7. 12-16, Berlin, Germany
  14. Kuroda, Y. and K. Yamazaki: Influence of solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode”, SOLARIS meeting, 2010. 3. 10-12, Potsdam, Germany
  15. Kodera, K.: Seasonal variation of the solar influence, SOLARIS Meeting, 2010. 3. 10-12, Potsdam, Germany
  16. Shibata, K. and M. Deushi, Comparison of solar signals in the past simulation 1960 to 2006 with the MRI chemistry-climate model between observed and modeled SST forcings, SOLARIS meeting, 2010. 3. 10-12, Potsdam, Germany
  17. Kuroda, Y.: High initial-time sensibility observed for the tropospheric NAM predictability in the stratospheric sudden warming, AGU Fall meeting, 2009. 12. 14-18, San Francisco, USA
  18. Kodera, K. and N. Eguchi: Tropical circulation and clouds changes during the northern stratospheric sudden warming in January 2009, AGU Fall meeting, 2009. 12. 14-18, San Francisco, USA
  19. Kodera, K. and Y. Kuroda, Conceptual model for the solar influence from the stratosphere, MOCA-09, 2009. 7. 19-29, Montreal, Canada
  20. Kuroda, Y.: Influence of stratospheric sudden warming and vortex intensification on the tropical troposphere, 17th Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics and 15th Conference on Middle Atmosphere, 2009. 6. 8-12, Stowe, USA
  21. Kodera, K. and N. Eguchi, Cirrus cloud variation in the tropics during the Southern Stratospheric Sudden Warmings in 2006 and 2007, AGU Fall meeting, 2008. 12. 15-19, San Francisco, USA
  22. Kuroda, Y.: Role of solar activity in the troposphere-stratosphere coupling in the northern and southern hemisphere winters, SPARC 4th General Assembly, 2008. 8. 31-9. 5, Bologna, Italy.
  23. Kuroda, Y., K. Yamazaki, and K. Shibata: Role of ozone in the solar cycle modulation of the northern Atlantic Oscillation, IGAC 10th International Conference, 2008. 9. 7-12, Annecy, France.
  24. Kodera, K., Hitoshi Mukougawa, Shingo Itoh: Intercontinental tropospheric teleconnection by planetary wave reflection in the stratosphere, SPARC 4th General Assembly, 2008. 8. 31-9. 5, Bologna, Italy.
  25. Kodera, K., M. Sigmond, M.E. Hori, S. Yukimoto: Solar modulation of the northern hemisphere winter trends: implications with increasing CO2, EGU General Assembly, 2008. 4. 13-18, Vienna, Austria.
  26. Kuroda, Y.: Effect of QBO on the solar cycle modulation of winter Northern Atlantic Oscillation, EGU General Assembly, 2008. 4. 13-18, Vienna, Austria.
- [その他]  
ホームページ等  
<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/cl/kuroda/kuroda.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
黒田 友二 (KURODA YUHJI)  
気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究官  
研究者番号：80343888
  - (2) 研究分担者  
柴田 清孝 (SHIBATA KIYOTAKA)  
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・室長  
研究者番号：50354494  
  
小寺 邦彦 (KODERA KUNIHICO)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・客員教授  
研究者番号：70343887
  - (3) 連携研究者  
なし
  - (4) 研究協力者  
出牛 真 (DEUSHI MAKOTO)  
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・研究官