

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26281016

研究課題名(和文) 太陽活動の北極振動への影響とメカニズムの解明

研究課題名(英文) Elucidation of effect and mechanism of solar activity on the Arctic Oscillation

研究代表者

黒田 友二 (Kuroda, Yuhji)

気象庁気象研究所・気候研究部・研究官

研究者番号：80343888

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：最近の観測、歴史データ、地球システムモデルの歴史実験を用いたラグ回帰分析から、太陽活動が北大西洋振動に与える影響とメカニズムについて調べた。太陽信号の伝搬過程は、海洋によって変調された下方伝搬シナリオによってよく説明される。信号は、太陽活動ピーク時にまず亜熱帯上部成層圏に温度信号として現れ、これによる西風偏差が極夜ジェット振動(PJO)を通じて下方伝搬して地表面にNAOの形で現れる。信号は正のNAOが、太陽活動ピーク後の年数が増加するほど早い時期に現れた。また、50年のスケールでの太陽-NAO関係の変動と振幅変調は、太陽放射と海洋の力学の間に非線形相互作用が生じることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：The influence of the solar cycle on the North Atlantic Oscillation (NAO) from the upper stratosphere to the surface was examined through lagged regression analyses using recent observations, historical observations, and an earth system model simulation. The propagation of the solar signal was well explained by a top-down mechanism modulated by the ocean: The solar signal first appears in the subtropical upper stratosphere as a temperature signal, the associated zonal wind signal propagates downward to the surface through the activity of the Polar-night Jet Oscillation, and finally the NAO is driven at the surface around the solar activity peak years. This signal is further modulated in such a way that the positive NAO signal tends to appear earlier in the winter as the number of years after the solar activity peak increases. The solar-NAO relationship on a 50-year time scale also suggest that nonlinear interactions occur between solar forcing and ocean dynamics.

研究分野：気候変動

キーワード：太陽活動 北大西洋振動 成層圏対流圏結合 海洋変動 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将来予測が非常に重要な課題となってきた。しかし、そのためにはまずは自然起源の気候変動に対する深い理解が欠かせない。気候変動の中で最も基本的なもの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、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、太陽紫外線強度の変化や宇宙線の効果などが考えられているが、太陽活動が気候変化を引き起こす実態把握とそのメカニズムについてはなお決定的な理解が得られていないという状態にある。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、海外研究協力者の Matthes が共同代表者を務める SOLARIS=HEPPA グループ等をプラットフォームにして現在世界的にも活発な研究が進められている状況にある。

2. 研究の目的

本研究では、太陽活動の気候への影響が見いだされているとされる他の地域と比べて、観測的裏付けがより充実し、また過去の研究から太陽活動による信号自体が比較的明瞭であると考えられている太陽活動の北極振動に対する影響について、その実態把握と影響評価、そしてそのメカニズムを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、近年の総合的観測データ、歴史的気圧データ、精緻な数値モデルを用いた歴史シミュレーションの3種のデータを総合的に組み合わせ、それらを相互比較することにより、太陽活動の北極振動への影響の実態とそのメカニズムを解明する。観測データとしては、上部成層圏では衛星観測データを、それより下層の領域は再解析データ ERA-Interim をつないだものを用いた。歴史的気圧データは、イギリスイーストアングリア大学作成のステーション気圧データによる月平均した北大西洋振動 (NAO) 指数をもちいた。数値シミュレーションは、地球の気候システムを精密に行うことのできる数値モデルである気象研究所の気候システムモデルを用いて、過去の火山噴火による硫酸エアロソル放出量、温室効果ガス濃度、地球軌道の変化、そして太陽活動に伴うスペクトル放射量の時間変化をモデルに外力として用いた歴史的数値シミュレーション結果である。これらのデータに対して、それぞれに対応した月平均の太陽活動指数を定義し、これらに対するラグ回帰解析を行うことによって太陽活動に関係した信号の時間変化を調べた。なお、本研究では主に太陽活動の11年周期変動に対する気候変化を調べるため、解析の前にトレンド成分はデータからあらかじめ除去しておいた。

4. 研究成果

まず、最近の観測データ(1979-2016)について、10.7 センチラジオ波の年平均放射強度 (F10.7) を太陽活動指標とするラグ回帰解析を行った。その結果、まずラグ0年の11月の北緯30度より赤道域の上部成層圏2hPa付近に有意な高温信号が現れた。他方45度付近は低温偏差ゆえ緯度勾配が生じた。温度風の関係を通じた上部成層圏出るの西風偏差は季節進行とともに極向き下向きに移動していき、2月には下部成層圏に作用中心が移る。このように東西風が極向き下向きに動く変動モードは極夜ジェット振動 (PJ0) とよばれている。このように、太陽活動に伴う信号はまず上部成層圏に温度信号として現れ、これに伴う西風偏差がPJ0に乗って対流圏に降りてくる形になるが、この信号の現れ方はトップダウンメカニズムとよばれている。一般にPJ0の下降伝搬に伴い地表面には極域が負偏差となる北極振動 (AO) あるいは北大西洋振動 (NAO) に相当する信号が現れやすいが今回もPJ0が対流圏に下りてきた2月に地表面に有意な正のNAO信号が見られた。NAO指数につき、その回帰をラグ年と冬季の各月の関数として表したのが図1である。図から、NAO信号はラグ0年の2月に中心を持ちながら、全体としては太陽活動のピーク年からの年が増えるほどNAO信号が冬季のより速い月に現れやすくなる傾向を表している。また、ラグ年の関数として見た時に、冬季平均の赤道温度、上部成層圏の南北温度勾配、PJ0指数、NAO指数は同じような周期関数的なふるまいを示す(図略)ことから、これらは全体として一体として太陽活動を地表面に伝搬していることが示唆された。

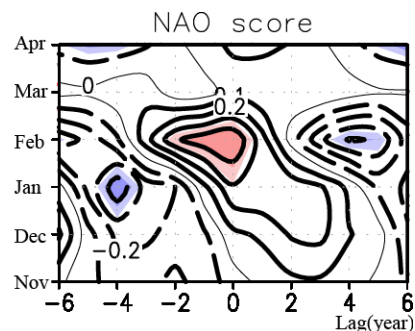


図1、ERA-Interim再解析データ(1979-2016)の地表面気圧データに基づいた、太陽活動F10.7による北大西洋振動(NAO)指数のラグ回帰。横軸はラグ年で縦軸は月。コンターは0.1間隔で負は破線で記している。影は統計的有意性を示し、濃(薄)いところは95(90)%の有意であることを示す。

詳細な気象観測データの蓄積は40年程度と短いですが、NAOについては変動の中心域であるアイスランドとポルトガルの地表面気圧の差が非常に良い指標になることが分かって

いる。この手法によって作成された過去 194 年分の NAO 指数と過去 270 年にわたる太陽黒点数を用いて過去 194 年について太陽活動の NAO への影響の解析を行ったのが図 2 である。194 年の全体については図で示されたように図 1 とよく似てラグ 0 年の 2 月に NAO がピークになること、ラグ年が大きいほど冬季の初めに NAO が出現すること等のラグ年と月に関する関係が認められるが、他方より詳細に調べると太陽活動と NAO の関係は 40 年スケールで非常に大きく変動することが分かった。データ長のわりに統計的有意性が小さいのはこの 40 年スケールの大きな変動のためであることが分かった。

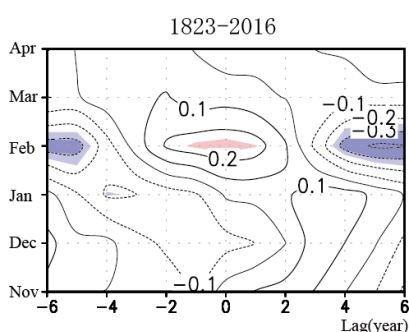


図 2、図 1 と同様、但し歴史的データ (1823-2016) に基づいた、太陽活動による北大西洋振動 (NAO) 指数のラグ回帰。影は統計的有意性を示し、濃(薄)いところは 95(90)% の有意であることを示す。

次に、気象研究所の地球システムモデルの長期ランについて同様の解析を行った。ランは近年の 165 年について行った。NAO は、地表面気圧変動から求め、太陽活動指数はモデルランに与えたトレンドを引いた全放射エネルギーを用いた。気象データについてもモデルランしたものを用いた。解析の結果、近年のデータを用いたものと同様に、ラグ 0 年付近でまず赤道域の上部成層圏に温度信号と南北温度勾配に相当した西風偏差が上部成層圏に現れ、これが PJ0 の時間進行と共に極向き下向きに移動し最後に対流圏へと下り地表面に NAO 信号が現れることが分かった (図略)。全年のデータを用いた太陽活動指数に基づいた NAO のラグ解析は図 1、2 と良く似たものが得られたが、NAO 信号の統計的有意性は小さかった。但し、ラグ年が同じ年では全体としては 1 ヶ月程度信号が早めに出る傾向がみられた。データを詳細にみていくと、歴史的データの場合と同様に 40 年程度の時間スケールで太陽活動と NAO の関係は大きく変動しており、このことが長期データにも関わらず太陽活動と NAO に対しての強い統計的関係性の形成を妨げているということが分かった。また、歴史的データおよびモデルランについ

て、NAO に対して 10 年スケールの変動のみを取り出したところ、太陽活動の変動と相関または逆相関する場合に NAO の振幅が大きくなるという特徴が見いだされた。NAO のラグ年の正負に対する非対称性や 40 年スケールの太陽活動と NAO の関係性に関する変動、そして NAO の 10 年スケール振幅と相関の関係性は、太陽活動と NAO の関係は大気によるトップダウンメカニズムだけでは説明できず、海洋応答の役割の重要性を示していると考えられる。

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 26 件)(全て査読有り)

1. Kuroda, Y., 2018: On the origin of the solar cycle modulation of the southern annular mode, *J. Geophys. Res.*, 123, 1959-1969, <https://doi.org/10.1002/2017JD027091>.
2. Butchart, N., K. Yoshida (31 番目), 他 30 名 2018: Overview of experiment design and comparison of models participating in phase 1 of the SPARC Quasi-Biennial Oscillation initiative (QBOi), *Geosci. Model Dev.*, 11, 1009-1032, <https://doi.org/10.5194/gmd-2017-187>.
3. Kuroda, Y., and K. Kodera, 2017: A simple multivariable maximum covariance analysis method. *J. Meteor. Soc. Japan*, 95, 171-180, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2017-009>.
4. Mukougawa, Y. Kuroda (3 番目), 他 3 名 2017: Dynamics and predictability of downward-propagating stratospheric planetary waves observed in March 2007. *J. Atmos. Sci.*, 74, 3533-3550, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-16-0330.1>.
5. Kodera, K., and H. Mukougawa, 2017: Eurasian cold surges triggered by the nonlinear reflection of stratospheric planetary waves in December 2012. *SOLA*, 13, 140-145, <https://doi.org/10.2151/sola.2017-026>.
6. Naoe, H., M. Deushi, K. Yoshida, and K. Shibata, 2017: Future Changes in the Ozone Quasi-Biennial Oscillation with Increasing GHGs and Ozone Recovery in CCM1 Simulations, *J. Climate*, 30, 6977-6997, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0464.1>.
7. Smalley, K. M., K. Shibata (8 番目), 他 8 名 2017: Contribution of different processes to changes in tropical lower-stratospheric water vapor in chemistry-climate models, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 8031-8044, [doi:10.5194/acp-17-8031-2017](https://doi.org/10.5194/acp-17-8031-2017).
8. Kageyama, M., K. Yoshida (33 番目), 他 33 名), 2017: The PMIP4 contribution to CMIP6 - Part 4: Scientific objectives and

- experimental design of the PMIP4-CMIP6 Last Glacial Maximum experiments and PMIP4 sensitivity experiments, *Geosci. Model Dev.*, 10, 4035-4055, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4035-2017>.
9. Kuroda, Y., 2017: Influence of atmospheric waves on the maintenance and variability of the southern subtropical jet in winter, *J. Geophys. Res.*, 122, 771-783, <https://doi.org/10.1002/2016JD025814>.
 10. Yukimoto, S., K. Kodera, and R. Thiéblemont, 2017: Delayed North Atlantic response to solar forcing of the stratospheric polar vortex. *SOLA*, 13, 53 - 58, <https://doi.org/10.2151/sola.2017-010>.
 11. Noda, S., K. Kodera (2 番目), 他 7 名, 2017: Impact of interactive chemistry of stratospheric ozone on Southern Hemisphere paleoclimate simulation, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 122, 878 - 895, <https://doi.org/10.1002/2016JD025508>.
 12. Kodera K., 他 4 名, 2017: Stratospheric tropical warming event and its impact on the polar and tropical troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 1-11, 2017, <https://doi.org/10.5194/acp-17-1-2017>.
 13. Kuroda, Y., 2016: Influence of atmospheric waves on the formation and the maintenance of the subtropical jet during the Northern Hemisphere winter -A new method for analyzing the responses to specific forcings, *J. Geophys. Res.*, 121, 4674-4690, <https://doi.org/10.1002/2015JD024592>.
 14. Kuroda, Y., and M. Deushi, 2016: Influence of the solar cycle on the polar-night jet oscillation in the southern hemisphere, *J. Geophys. Res.*, 121, 11,575-11,589, <https://doi.org/10.1002/2015JD024204>.
 15. Noguchi, S, Y. Kuroda (3 番目), 他 4 名 2016: Predictability of the stratospheric polar vortex breakdown: An ensemble reforecast experiment for the splitting event in January 2009, *J. Geophys. Res.*, 121, 3388-3404, <https://doi.org/10.1002/2015JD024581>.
 16. Eguchi, N, K. Kodera (2 番目), 他 3 名, 2016: Rapid convective transport of tropospheric air into the tropical lower stratosphere during the 2010 sudden stratospheric warming, *SOLA*, 12A, 13-18, <https://doi.org/10.2151/sola.12A-003>.
 17. Kodera K., 他 3 名 2016: How can we understand the global distribution of the solar cycle signal on the Earth's surface?, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 12925-12944, <https://doi.org/10.5194/acp-16-12925-2016>.
 18. Tripathi, O., Y. Kuroda (9 番目), 他 15 名, 2016: Examining the predictability of the Stratospheric Sudden Warming of January 2013 using multiple NWP systems, *Mon. Wea. Rev.*, 144, 1935-1960, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0010.1>.
 19. Kodera K. 他 4 名, 2016: Absorbing and reflecting sudden stratospheric warming events and their relationship with tropospheric circulation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 80-94, <https://doi.org/10.1002/2015JD023359>.
 20. Sinha, P. R., M. Deushi (5 番目), 他 13 名, 2016: Transport of Tropospheric and Stratospheric Ozone over India: Balloon-borne Observations and Modeling Analysis, *Atmos. Env.*, 131, 228-242, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.02.01>.
 21. Thiéblemont R., K. Kodera (4 番目), 他 3 名, 2015: Solar forcing synchronizes decadal climate variability North Atlantic. *Nat. Com.* 6, <https://doi.org/10.1038/ncomms9268>.
 22. Kodera K., 他 4 名, 2015: The role of convective overshooting clouds in tropical stratosphere-troposphere dynamical coupling. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 6767-6774, <https://doi.org/10.5194/acp-15-6767-2015>.
 23. Sugi, M., K. Yoshida (2 番目), 他 1 名, 2015: More tropical cyclones in a cooler climate?, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 6780-6784, <https://doi.org/10.1002/2015GL064929>.
 24. Eguchi, N., K. Kodera, and T. Nasuno 2015: A global non-hydrostatic model study of a downward coupling through the tropical tropopause layer during a stratospheric sudden warming, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 297-304, <https://doi.org/doi:10.5194/acp-15-297-2015>.
 25. Hoshika, Y., M. Deushi (3 番目), 他 4 名, 2015: Ozone-induced stomatal sluggishness changes carbon and water balance of temperate deciduous forests, *Scientific Reports*, SREP-14-07998A, <https://doi.org/10.1038/srep07998>.
 26. Tripathi, O., Y. Kuroda (10 番目), 他 14 名, 2014: The predictability of the extratropical stratosphere on monthly time-scales and its impact on the skill of tropospheric forecasts, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, <https://doi.org/10.1002/qj.2432>
- [学会発表] (計 99 件) (主要のみを記述)
1. K. Shibata, Impacts of increase in vertical resolution of chemistry-climate model on the equatorial semi-annual oscillation above the upper stratosphere, 2017 AGU Fall Meeting, 2017-12-15, New Orleans, USA
 2. Kuroda, Y., Solar-PJO relationship and the NAO -Analysis with an earth system model-, SOLARIS-HEPPA group meeting, Universite Pierre et Marie Curie, 2017-11-7, Paris, France.
 3. K. Kodera, Y. Kuroda, R. Thiéblemont, Nonlinear response of Pacific SSTs to Solar

- cycle, SOLARIS-HEPPA group meeting, Universite Pierre et Marie Curie, 2017-11-6, Paris, France.
4. K. Kodera, N. Eguchi, Possible role of tropical stratospheric cooling on recent tropical change through modulation of extreme deep convection, Asian Conference on Meteorology 2017, 2017.10.24, Busan, Korea
 5. K. Yoshida, and H. Naoe, Improvements of Quasi-Biennial Oscillation simulation in the Meteorological Research Institute earth system model, Joint SPARC Dynamics & Observations Workshop - QBOi, FISAPS & SATIO-TCS, 2017.10.11, Kyoto, Japan
 6. K. Kodera, N. Eguchi, R. Ueyama, Y. Kuroda, C. Kobayashi, Involvement of recent tropical stratospheric cooling on tropical ocean and tropospheric circulation change, Joint SPARC Dynamics & Observations Workshop- QBOi, FISAPS & SATIO-TCS, 2017.10.10, Kyoto University, Kyoto
 7. Yoshida, K., et al., Improved climate simulation using a new earth system model MRI-ESM2 focusing on middle atmosphere, Fourth International Conference on Earth System Modelling, 2017-8-28, Hambrug, Germany,
 8. Kuroda, Y., Influence of the solar cycle on the polar-night jet oscillation, European Geosciences Union General Assembly, 2017-4-24, Vienna, Austria
 9. Kuroda, Y., Influence of atmospheric waves on the maintenance and variability of te southern subtropical jet in winter, European Geosciences Union General Assembly, 2017-4-26, Vienna, Austria
 10. Kuroda, Y., and K. Yoshida, Solar signal observed in the historical integration of MRI-ESM, The second international symposium of the PSTEP (PSTEP-2), 2017-3-21, Kyoto University, Japan
 11. Kuroda, Y., Solar cycle influence on the southern hemisphere climate, The second international symposium of the PSTEP (PSTEP-2), 2017-3-24, Kyoto University, Japan
 12. K. Kodera, Role of the ocean in the solar cycle signal in the Earth's surface, The second international symposium of the PSTEP (PSTEP-2), 2017-3-24, Kyoto University, Japan
 13. K. Kodera, N. Eguchi, R. Ueyama, Role of Stratospheric Cooling on the Tropical Troposphere and the Ocean, American Geophysical Union Fall meeting, 2016-12-12, San Francisco, USA
 14. Kuroda, Y., Solar cycle modulation of southern annular mode; energy-momentum analysis, American Geophysical Union Fall meeting, 2016-12-16, San Francisco, USA
 15. Yoshida, K. and H. Naoe, 2016: Dynamical aspects of Quasi-Biennial Oscillation in the Meteorological Research Institute Earth System Model. SPARC QBO Workshop, 2016-9-26, Oxford, UK
 16. M. Deushi and Y. Kuroda, Effect of stratospheric ozone on tropical tropospheric and stratospheric circulation after a stratospheric sudden warming event, Quadrennial Ozone symposium 2016, 2016-9-7, Edinburgh, UK
 17. Shibata K., Decadal variations of the equatorial quasi-biennial oscillation in the stratosphere. 9th Workshop on Long Term Changes and Trends in the Atmosphere, 2016-9-22, Kühlungsborn, Germany
 18. Kuroda, Y., Influence of atmospheric waves on the formation and maintenance of the subtropical jet during the northern hemisphere winter, European Meteorological Society annual meeting/ European Conference for Applied Meteorology and Climatology 2016 (EMS2016), 2016-9-12, Trieste, Italy,
 19. K. Kodera and R. Thiéblemont, Solar cycle modulation of ENSO variability, European Geosciences Union General Assembly, 2016-4-20, Vienna, Austria
 20. Kuroda, Y., Solar cycle modulation of southern annular mode: energy-momentum analysis, European Geosciences Union General Assembly, 2016-4-20, Vienna, Austria
 21. Kuroda, Y., Influence of atmospheric waves on the formation and maintenance of the subtropical jet during the northern hemisphere winter, European Geosciences Union General Assembly, 2016-4-18, Vienna, Austria
 22. Kodera K., H. Mukougawa, P. Maury, C. Claud, M. Ueda: Absorbing and reflecting sudden stratospheric warming events and their relationship with tropospheric circulation, SPARC Workshop "Stratospheric Change and its Role for Climate Prediction (SHARP)", 2016-2-17, Berlin, Germany
 23. Shibata K., Long-term variations of the equatorial quasi-biennial oscillation in ERA-40 and ERA-Interim data, SPARC Workshop SHARP2016, 2016-2-18, Berlin, Germany.
 24. Kuroda, Y., Solar cycle modulation of Southern Annular Mode: Energy-momentum analysis, SOLARIS-HEPPA group meeting, 2015-11-6, Boulder, USA
 25. Kuroda, Y., 2015: Solar cycle modulation of Southern Annular Mode: Energy-momentum analysis, Asian Conference on Meteorology,

- 2015-10-26, Kyoto, Japan
26. Yoshida, K., R. Mizuta, and O. Arakawa, 2015: Intermodel upwelling difference in the tropical tropopause layer among CMIP5 models. Asian Conference on Meteorology, 2015-10-27, Kyoto, Japan
 27. Deushi M. K. Yoshida, H. Yoshimura and N. Oshima, Dependence of stratospheric mean age of air on model resolution and transport scheme in REF-C1 simulations, CCM1 workshop, CNR, 2015-10-9, Rome, Italy
 28. Kodera K., B. M. Funatsu, C. Claud, and N. Eguchi: Impact of sudden stratospheric warming event on the TTL and deep convective activity, Composition and Transport in the Tropical Troposphere and Lower Stratosphere Meeting, 2015-7-22, Boulder, USA
 29. Kuroda, Y., Formation and maintenance mechanism of the tropospheric jet stream, I U G G general assembly, 2015-6-24, Prague, Czech Republic
 30. K. Kodera, Where should we expect solar signal on the Earth's surface, Conference on sun climate connection, 2015-3-18 Kiel, Germany
 31. Kodera, K. et al., Absorbing- and reflecting sudden stratospheric warming events and their relationship with tropospheric circulation: Case studies, AMS 2015 annual meeting, 2015-1-7 Phoenix, USA
 32. Kuroda Y., Solar cycle modulation of the Southern Annular Mode -A simulation with a chemistry climate model (oral), AGU Fall meeting, 2014-12-17, San Francisco USA
 33. Kuroda, Y., Influence of the solar cycle on the Polar-night Jet Oscillation in the southern hemisphere winter, Conference on Sun-Climate connection (SCC2015), 2015-3-17, Kiel, Germany
 34. Yoshida, K., R. Mizuta, and O. Arakawa, 2015: Intermodel comparison of upwelling in the tropical tropopause layer by using CMIP5 models and MRI-AGCM (oral). 95th American Meteorological Society Annual Meeting, 2015-1-6, Phenix, USA
 35. Kuroda Y. and H. Mukougawa, Role of medium-scale waves on the Annular Modes, 14th European Meteorological Society annual meeting, 2014-10-9, Prague, Czech Republic
 36. Kodera, K., Characteristic spatial structure of the surface temperature variation related to the solar cycle, Asian Oceania Geosciences Society meeting, 2014-7-31, Sapporo, Japan
 37. Yoshida, K., Y. Kuroda et al., Solar influence on Last Millennium simulated by MRI-CGCM3 (poster). 5th International HEPPA Workshop in conjunction with SPARC /SOLARIS-HEPPA, 2014-5-7,

Baden-Baden, Germany,

〔図書〕(計2件)

1. 黒田友二「気候変動の辞典」(分担執筆)、「太陽活動からさぐる気候変動」項目執筆、朝倉書店、2017年12月 全460ページ
2. 黒田友二「低温と環境の科学辞典」(分担執筆)、「極夜ジェット」項目執筆、朝倉書店、2016年7月 全432ページ

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/cl/member/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・研究官
研究者番号：80343888

(2)研究分担者

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

吉田 康平 (YOSHIDA KOHEI)

気象庁気象研究所・気候研究部・研究官
研究者番号：10636038

柴田 清孝 (SHIBATA KIYOTAKA) (2014年10月から)

高知工科大学・環境理工学群・教授
研究者番号：50354494

出牛 真 (DEUSHI MAKOTO) (2015年度まで)

気象庁気象研究所・環境・応用研究部・主任研究官
研究者番号：00354499

(4)研究協力者

出牛 真 (DEUSHI MAKOTO) (2016年度から)

気象庁地球環境海洋部・環境気象管理官付

向川 均 (MUKOUGAWA HITOSHI)

京都大学・防災研究所・教授

Katja Matthes

ドイツ・ヘルムホルツ海洋研究所・教授

Lesley Gray

イギリス・オックスフォード大学・教授