

U06-01

会場:105

時間:5月24日 09:00-09:15

宇宙・太陽から地球表層までのシームレスな科学を目指して一気候や大気環境の変動に関連する温室効果気体の観測研究ー
Evolution of New Seamless Science From Space, Sun to the Earth Surface: Observational studies of greenhouse gas species

松見 豊^{1*}
MATSUMI, Yutaka^{1*}

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ Solar Terrestrial Environment Laboratory

地球環境問題の解決に向けた地球システムの真の理解には、宇宙・太陽圏・電磁気圏・大気圏・水圏・地圏と生物圏が密接に相互作用するシステムとしての「太陽地球圏」を包括的に扱う科学の構築と推進が必要である。これらの領域をつなげてシームレスに研究することにより、境界領域の連続性と領域間の相互作用が明らかになる。本発表では名古屋大学でのこうしたシームレス研究の推進の動きを紹介する。また、発表者自身が行っている気候や大気環境の変動に関連する温室効果気体の観測について紹介するとともに、今後の発展方向について考察する。

キーワード: 地球温暖化, 温室効果気体, 気球観測, 二酸化炭素, メタン, レーザー同位体分光計

Keywords: Global warming, Greenhouse gas, Balloon-borne measurement, Carbon dioxide, Methane, Laser isotope spectrometer

太陽地球生命圏相互作用系の統合的研究の重要性 Importance of integrated research on the Sun-Earth-Life Interactive System (SELIS)

安成 哲三^{1*}

YASUNARI, Tetsuzo^{1*}

¹ 総合地球環境学研究所

¹ Research Institute for Humanity and Nature

20世紀の地球科学は、地球を細分化し、それぞれの現象・プロセスに近代物理学・化学の手法と考え方を導入して解明を進めてきた学問分野といえる。そして、それぞれの分野において、新たな現象の発見、解明を含めて、近代的な地球科学諸分野が発展し、それぞれの分野に対応した多くの学会が設立されている。この流れはもちろん、否定すべきものではなく、科学の歴史的発展の一段階として必然の帰結でもある。

現在、「グローバル」に拡大・発展してきた人類活動は、地球温暖化やオゾンホールに代表されるいわゆる「地球環境問題」を引き起こしている。しかし同時に、この人類の知的活動の進展により、地球が、太陽エネルギーを受けながら、さまざまな物理・化学プロセスが相互に密接に関連して機能し、進化してきたひとつのシステムであることを再認識させることにもなった。そして、最近の国内外の研究により、人類を含めた生命圏も、このシステムの進化・変化の過程に能動的に働きかけながら、現在の地球をかたちづくってきたことが、明らかになってきた。たとえば、大気層のオゾン層は、太陽からの紫外線フィルターとして、生命圏の維持に不可欠な役割を果たしているが、このオゾン層は対流圏からの酸素の絶えざる供給によって維持され、その酸素はもちろん、生命圏の光合成活動により維持されている。オゾン層のもうひとつの重要な機能は、大気成層圏の維持であり、成層圏の存在が、生命にとって不可欠の水物質の保存と水循環を含めた、地球表層と対流圏における閉じた物質循環を保障している。すなわち、オゾン層と生命圏は、相互にその維持を担う共生系を成しつつ形成されてきたことがわかる。一方で、強烈な太陽風エネルギーから生命圏を保護してきたのは、地球磁場の存在です。地球磁場の維持と変化によるオーロラの変動や、その変化機構を担う固体地球内部のダイナミクスも、地球表層の生命圏の進化と決して無縁ではない。現在の地球の生態系も、水・物質循環を介して、気候と共生的関係にあることが、ここ数年の私たちの進めてきたプロジェクトで明らかになりつつある。

このような地球システム全体を、太陽・地球・生命圏相互作用系と捉え、過去から現在に至るこの系の変化のダイナミクスを改めて理解し、未来をも予想することは、物理学・化学の応用問題としての地球科学ではなく、地球という惑星そのものが何であるかを考究する新たな「地球学」の構築をもめざすことでもある。そして、この地球学は、人類を含む生命圏の存続とさらなる発展（進化）が、今後どのようなかたちで有りうるかを考える基礎と契機になりうるであろう。

このような統合的研究の試みは、2003年から5年間にわたり名古屋大学21世紀COEプログラム「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」として実施され、その成果の更なる発展を期して、統合的研究の設置が提案された。そのコアとなる活動は、学内の「地球生命圏研究機構（SELIS）」として引き継がれたが、新たな研究所としては時期尚早として見送られた。その後、SELISの統合的研究の必要性は、Future Earthなどの地球環境研の統合化の流れなどからも、さらに高まっているといえる。この度、名古屋大学が、太陽地球環境研究所、地球水循環研究センター、年代測定研究センターを改組・統合してこのSELISの統合的研究を目指した新たな研究所を設立するを決定したのは、このような国際的な動きと要望にまさに合致するものであり、統合的地球システム研究の世界的中核としての役割を担うことを大いに期待するものである。

キーワード: 太陽, 地球, 生命圏, 相互作用, 地球システム, 統合的研究

Keywords: Sun, Earth, Biosphere, Interaction, Earth system, Integrated research

生物活動および太陽活動の変化に対する大気化学応答 Atmospheric chemical response to the changes in biological and solar activities

今村 隆史^{1*}
IMAMURA, Takashi^{1*}

¹ 独立行政法人国立環境研究所環境計測研究センター

¹ Center for Environmental Measurement and Analysis, National Institute for Environmental Studies

The temporal and spatial distributions of atmospheric constituents, especially trace species, are related to air quality and climate system. The distribution of trace species in the atmosphere is controlled by the chemical processes, the emission and deposition and the transport from one region to another. Vegetation is the largest sources of reactive volatile organic compounds (VOCs) which are the precursors of photochemical ozone and organic aerosol in the troposphere. The increase in ozone and aerosol concentrations at the surface level would affect agricultural productivity, biogenic activities, and local/regional climate. On the other hand, ozone and aerosol budgets would be strongly influenced by human activities, e.g., agricultural and industrial activities. Furthermore, climate change affects vegetation and the emission rates of biogenic VOCs and emission which leads to change in the type and strength of biogenic volatile organic compounds' emission. It is therefore important to accelerate the joint-studies between biological and atmospheric science communities in order to improve the knowledge of the interrelation among biogenic activity, chemistry in the atmosphere, human activity, and climate.

Solar radiation, the heat source of Earth, is an important external factor to control and trigger chemical reactions in the atmosphere. For example, the production rates of stratospheric ozone are basically given as a function of the flux of solar radiation shorter than 240nm, which is much more sensitive to solar activity than the radiation in visible and IR region. Solar activity may also perturb the circulation field in the middle atmosphere. Therefore, the distribution of ozone in the middle atmosphere would be given as a complex function against the variation of solar activity. Solar activity change also influences on the amount of energetic charged particles which penetrate into the Earth's atmosphere. Solar energetic particle event is one of the examples and triggers many neutral and ionic reactions which results in the large changes in trace atmospheric species, e.g., total reactive nitrogen (NO_y) and ozone concentrations in the middle atmosphere. The enhanced NO_y and/or depleted ozone could be used as a tracer of the atmospheric motion. Not only transient phenomena but also long term variability of solar activity has an influence on Earth's environment. For example, one of the ideas concerning the interrelation between solar activity and climate is that the changes in the production rates of fine particles in response to the variation of solar activity would affect the solar energy reaching at the Earth's surface. However, in order to estimate the impact of solar activity changes on aerosol concentration, atmospheric chemical feedback should be considered because both the emissions of VOCs and chemical processes would also be influenced by the change in the solar flux and temperature. Environmental changes induced by solar/cosmic transient phenomena and/or long term variation of solar activity would be mediated through atmospheric processes and their information might be recorded into the ice core, soil, and biosphere. Information on interaction among sun-atmosphere-biosphere should be shared in order to understand the mechanisms how the atmospheric chemical processes response the change in solar activities and cosmic events.

海洋表層・大気下層間の物質循環リンケージ Linkages in biogeochemical cycles between surface ocean and lower atmosphere

植松 光夫^{1*}
UEMATSU, Mitsuo^{1*}

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

人間活動による放出物質の増加や地球温暖化は、海洋へ運び込まれる陸上の物質の量を変化させ、海洋生物の種類や量など生態系に影響を与える。それによって、海洋生物が取り込む炭素や窒素、同時に海洋生物から放出される微量気体の量などが変化する。海洋生物起源の気体が大気中へ放出されて、粒子（エアロゾル）になると、太陽光を反射したり雲の性質や量を変えたりすると考えられている。海洋生物を通して大気と海洋の間に存在する境界領域でのシームレスな相互作用（リンケージ）を明らかにする研究成果を紹介する。

これらの一連の研究は大気化学、海洋気象学、海洋化学、海洋生物学、海洋物理学などの多岐にわたる分野の研究者が海洋大気境界層（海面から高度約2 kmまで）から境界面を挟んだ海洋表層（有光層約200 m以浅）を研究対象域として絞り込み、共通した研究課題に研究船での共同観測、地上大気観測および衛星観測の手法を用いて取り組んだ。

北太平洋中高緯度海域では大気からの自然現象による鉄供給量が、海洋の生物生産変動に大きく関与していることを黄砂の現場観測により、確かめることができた。また、火山灰中の鉄の供給により海域の生物生産が高まったことや、海洋生物による微量気体の生成量の増加が認められた。海洋上での揮発性有機物の測定や有機エアロゾルの化学組成分析から、海水から放出された気体が大気中で粒子化され、エアロゾルの増加を導くことが見出された。特に2008年のハワイ島・キラウエア火山の噴火は、北太平洋中央部でのエアロゾルの増加をもたらした。雲粒径の減少と雲被覆率を高め、洋上で負の放射強制力を強め、海水表面水温の低下を引き起こし、海洋生態系への間接的影響が存在する可能性を観測とモデルにより明らかにした。このように地球表面の70%を覆う海洋大気中のエアロゾル生成消滅過程の直接的な計測手法の開発により、大気海洋間の諸過程の重要な知見を得ることができた。

一方、北太平洋亜熱帯海域では地球温暖化により、海洋の表面水の成層化が強化され、窒素固定を行うプランクトンの増加を引き起こすが、大気からの物質の供給が極めて重要であり、プランクトン消長の制限因子になることを明らかにした。それに加えて、低気圧の通過や台風の発生と移動など気象現象による湧昇が生物生産を高めているという観測事例を基に、船上での台風模擬実験を実施した。その結果、大型の珪藻類が増加し、深海への炭素輸送が促進される可能性を見出し、モデルによる定量化に成功した。これらのことは、気候変化に伴った海洋構造の変化が海洋生態系とそれに連動する海洋大気への生物起源気体の放出や炭素循環への海洋生物による寄与を示唆している。

こういった海洋生物起源気体が、赤道海域では対流圏上層部、さらに成層圏へも輸送されている可能性があり、成層圏大気試料を船上から放球した大気球により試料採取することに成功している。

キーワード: 生物地球化学, 大気海洋物質循環, 海洋生物起源物質, 大気人為起源物質, 海洋生態系, IGBP/SOLAS

Keywords: biogeochemistry, material cycles between surface ocean and lower atmosphere, marine biogenic substances, atmospheric anthropogenic substances, marine ecosystem, IGBP/SOLAS

Observations and simulations of cloud ice and aerosol Observations and simulations of cloud ice and aerosol

TSUBOKI, Kazuhisa^{1*}; SHINODA, Taro¹; OHIGASHI, Tadayasu¹
TSUBOKI, Kazuhisa^{1*}; SHINODA, Taro¹; OHIGASHI, Tadayasu¹

¹Hydrospheric Atmospheric Research Center (HyARC), Nagoya University

¹Hydrospheric Atmospheric Research Center (HyARC), Nagoya University

Cloud ice composing cirrus clouds and aerosol have large impacts on climate and weather by an interaction with radiation. They are one of the large uncertainties for the projections of the climate change. Upper layer cirrus clouds surrounding a typhoon strongly control the upper layer temperature around the typhoon. Consequently, their characteristics are related to typhoon intensity. So far, we have been using hydrometeor videozondes (HYVISs) to observe cloud particles in the upper troposphere. The HYVISs can observe cloud particles ranging from 10 micrometer to 1 mm. It shows size, shape and number concentration of cloud particles with high vertical resolution. We conducted field observations using HYVISs for various types of clouds associated with heavy rainfall systems and typhoons in Okinawa, Japan and Palau in the tropics. The observation results show characteristics of cloud particles and are used to improve the cloud processes in a cloud-resolving model.

To perform simulations and numerical experiments of high-impact weather systems such as heavy rainfall systems and typhoons, and convective/stratiform clouds, we have been developing a cloud-resolving numerical model named the Cloud Resolving Storm Simulator (CReSS) since 1998. The cloud processes are important part of the CReSS model. Typhoons bring about strong wind and heavy rainfall occasionally and cause severe disasters in East Asia. The recent studies projected future increase of typhoon intensity with the climate change (Tsuboki et al. 2015). Accurate predictions of typhoon intensity and the associated rainfall are important for disaster prevention. A recent statistics of the typhoon prediction accuracy showed that typhoon track prediction has been significantly improved, while intensity prediction has not for the last 20 years. Since the inner core of typhoon is composed of intense convective clouds, cloud-resolving simulation at a high-resolution (less than 2 km in a horizontal direction) is essentially required for accurate prediction of typhoon intensity. We apply CReSS for simulations of observed typhoons and for projection experiments of future change of typhoons associated with the climate change.

The CReSS model was designed for a large parallel computer and performed simulation experiments at the Earth Simulator and the Kei Computer. It is a non-hydrostatic and compressible equation model using terrain-following coordinates. Prognostic variables are 3-dimensional velocity components, perturbations of pressure and potential temperature, water vapor mixing ratio, sub-grid scale turbulent kinetic energy (TKE), and cloud physical variables. Cloud physical processes are formulated by a bulk method of cold rain. The bulk parameterization of cold rain includes mixing ratio of water vapor, rain, cloud, ice, snow, and graupel and number concentrations of solid hydrometeors. Parallel processing is performed using the Message Passing Interface (MPI). The OpenMP is also available for intra-node communications. More detailed explanations are found in Tsuboki and Sakakiara (2002) and Tsuboki (2008). To investigate the interaction of aerosol and cloud particles, it is necessary to install more detailed nucleation processes for liquid cloud and ice crystals. These are future subjects in this field.

キーワード: cloud ice, aerosol, cloud resolving model, typhoon, hydrometeor videozondes (HYVISs)

Keywords: cloud ice, aerosol, cloud resolving model, typhoon, hydrometeor videozondes (HYVISs)

太陽活動の気候変動影響を探る分野連携研究の展望 Prospects of Interdisciplinary Research for Solar Influence on Climate

草野 完也^{1*}

KUSANO, Kanya^{1*}

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

地球の気候を変動させる要因の一つに、太陽の磁気活動（黒点活動）がある。太陽磁気活動の変動は、約11年周期の変動（太陽周期変動）に加えて、より長期の変動の存在が黒点観測や、樹木年輪、南極およびグリーンランドの氷床に含まれる宇宙線生成核種（¹⁴C及び¹⁰Be）の変動からも知られている。こうした太陽の長期変動は、太陽周期毎に極域や黒点の磁気極性を反転させるダイナモ機構があわせ持つ性質であると考えられている。一方、太陽磁場（黒点）の長期変動と地球気候変動の間に一定の相関関係があることも認められている。特に、およそ10世紀から14世紀にかけて続いた中世温暖期、14世紀から19世紀半ばまで続いた小氷期は太陽活動の活発な時代と静穏な時代（グランド・ミニマム）にそれぞれ対応しており、地球の気候は何らかの影響を太陽から受けている可能性が高い。そのメカニズムについては太陽放射影響、銀河宇宙線の雲への影響、太陽高エネルギー粒子の大気降り込みによる高層大気化学変化等の仮説が提案されているが、未だに明確ではない。現在の太陽周期（サイクル24）は過去100年間で最も活動度の低い周期になる可能性が高い。今後、太陽活動がさらに低下し、21世紀中に新たなグランド・ミニマムを迎える可能性も指摘されている。このため、太陽活動の気候影響を解明することは将来の地球気候変動の予測信頼性を高めるためにも極めて重要な課題となっている。この重要課題の解決のためには、宇宙・太陽・地球を一つのシステムとして探るシームレス科学の視点が不可欠である。そのためには、宇宙物理学、太陽物理学、宇宙空間物理学、地球電磁気学、気象・気候学、古環境学などの分野横断的な連携研究を推進する必要がある。本講演では、太陽活動の気候変動影響を探るための具体的な課題について議論すると共に、名古屋大学において太陽地球環境研究所、地球水循環研究センター、年代測定総合研究センターが協力して進めようとしている新たな太陽気候影響研究プロジェクトの内容と計画を説明する。

キーワード: 気候変動, 太陽活動, ダイナモ, 分野連携, 小氷期

Keywords: climate change, solar activity, dynamo, interdisciplinary research, the Little Ice Age

気候変動下の陸域生態系応答検出に関するシームレスな科学の展開 Toward a new seamless science for a detection of terrestrial ecosystem responses under changing climate

三枝 信子^{1*}
SAIGUSA, Nobuko^{1*}

¹ 国立環境研究所
¹ National Institute for Environmental Studies

人為的な温室効果ガスの放出、中でも二酸化炭素 (CO₂) やメタンの放出が引き起こす地球温暖化は、大気・海洋・陸域の炭素循環や生態系にさまざまな時間スケールで重要な影響を与える。ここで生態系が温暖化に対し地球規模で影響力のある負のフィードバック機構をもつとしたら、生態系が気候変化を緩和し安定化させる機能をもつという意味であり、それは人類が生態系から受ける恩恵と捉えることができる。一方、正のフィードバック機構は、生態系の反応が温暖化をさらに加速することを意味し、それは早期に発見し、影響を評価し、対策を施すべき対象である。負のフィードバックには、光合成の原料である大気中 CO₂ が増えることにより植物の光合成が促進される施肥効果、気温上昇や植物の生育期間伸長による生産量や繁殖成功度の上昇、正のフィードバックには、気温上昇による凍土や湿地、泥炭地などにおける温室効果ガス発生加速などがある。

生態系の応答を大陸スケール、全球スケールで捉えるには、これまで主にリモートセンシングや生態系プロセスモデルを用いた研究が行われ、将来予測にも重要な示唆を与えられてきた。今後は、それらの予測や示唆を実測によって検証すると同時に、気候変化に伴い今後起こるかもしれない生態系の変化を検出し、変化の影響を定量的に評価する取組を進める必要がある。そのために、温暖化に伴う生態系の変化を地球規模で監視 (モニタリング) し、その変化が多方面に及ぼす影響を総合的に観測するしくみが必要である。ただし、気候-生態系フィードバックには極めて多くのプロセスが関与しているため、正のフィードバックが起こり始める地域や要因を早期に検出するには、生態系の生産力、分解、栄養塩のサイクル、生物の侵入、種組成の変化、より長期的に起こる植生帯の遷移、それに係わる植物・動物・微生物の役割といった多岐にわたるプロセスを長期的に観測する多大な努力が必要となる。

本講演では、これまで陸域生態系における地上観測や衛星観測のコミュニティが長期モニタリングに基づいて実施してきた研究や、温暖化影響評価の研究の成果と課題を紹介すると同時に、生態系変動とそれに伴う炭素循環等の変動を大陸スケールでとらえるための国内外の取組、特に米国国家生態学観測ネットワーク (NEON: The US National Ecological Observatory Network; <http://www.neoninc.org/>) や欧州の統合炭素観測システム (ICOS: Integrated Carbon Observation System; <http://www.icos-infrastructure.eu/>) の現状を紹介する。さらに、将来の陸域生態系応答の検出に関わる科学の発展のため、長期的で一貫性のある生態系モニタリングを構築・強化する上での課題について議論する。

キーワード: 炭素循環, 地球温暖化, 陸域生態系, 地球規模モニタリング
Keywords: Carbon cycle, Global warming, Terrestrial ecosystem, Global monitoring

U06-08

会場:105

時間:5月24日 11:20-11:40

古環境研究の現状と展望 太陽から地球表層まで Recent achievements and future perspectives of paleoenvironmental studies

井龍 康文^{1*}

IRYU, Yasufumi^{1*}

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹ Graduate School of Science, Tohoku University

近年の分析技術の向上により、生物骨格・殻や堆積物から過去の地球環境を復元する研究は大きく進展した。その結果、復元されるデータは水温、塩分、pHといった生息場や堆積場のローカルな情報に留まらず、モンスーン、エルニーニョ／南方振動やインド洋ダイポール、太平洋十数年変動の頻度および強度といったグローバルなイベント、さらには太陽活動という地球外の現象にまで及ぶようになった。また、化石燃料の消費による大気二酸化炭素の炭素同位体組成の変化や大気圏内核実験による放射性元素の生成・拡散といった人類活動による環境改変もトレース可能である。このように、生物骨格・殻や堆積物から過去の地球環境を復元する研究は、「シームレス科学」の典型例である。講演では、この分野の到達点を総括し、今後を展望する。

キーワード: 古環境, 堆積物, 生物骨格, 生物殻

Keywords: Paleoenvironment, sediment, skeleton, shell

ルミネッセンス年代測定の可能性 Potential of luminescence dating

長友 恒人^{1*}

NAGATOMO, Tsuneto^{1*}

¹ 奈良教育大学

¹ Nara University of Education

年代測定が利用する自然現象は、原子核の崩壊（壊変）や分裂、固体物理的現象、分子レベルの現象など多岐に亘る。ルミネッセンス年代測定法は、熱励起または光励起による鉱物（主として石英）の発光現象を利用する方法であり、固体物性的な現象を利用する方法に分類される。測定試料の安定性の観点からは、CHIME 法や C-14 法など原子核現象を利用する方法は試料が置かれた環境変化の影響をほとんど受けないが、ルミネッセンス法や電子スピン共鳴法など物性的な現象、ラセミ化法など化学変化を利用する方法は温度や含水率変化などの影響を受けやすい。石英を試料とするルミネッセンス法は常温常圧に近い環境であれば、数 10 年前から数 10 万年前までの年代をカバーし、条件がよければ 100 万年前までの年代を測定することができる。

石英のルミネッセンスは、宇宙線などの自然放射線が結晶の変位や不純物元素によって生じた格子欠陥に作用することによって発光する現象である。放射線または Fe, Al, Ti, Mn 等の不純物によって生じた石英中の格子欠陥によって準安定状態のホールセンターとエレクトロンセンターが形成され、そこに捕捉されたホールとエレクトロンが外部エネルギーで励起されて再結合することによって発光する。天然石英の放射線による格子欠陥の形成は自然の放射性核種からの放射線と宇宙線に起因する。従って、準安定状態のホールとエレクトロンセンターは結晶化後の経過時間とともに増え、それに起因する発光量も多くなる。不純物によって形成された準安定なセンターにも放射線によってホールとエレクトロンが捕捉され、同様に発光する。

石英の結晶化後に捕捉されたホールとエレクトロンは火山噴火や人為的な加熱または自然堆積時の露光によるエネルギーによって再結合して発光し、ホールとエレクトロンの数は初期状態に戻る（ゼロイング）。このゼロイングによってルミネッセンスを利用した年代測定が可能となる。この方法がカバーする年代は地球表層に関連する人類紀の後半期である。この方法では、火山噴火、津波、砂丘形成など人類に影響を与えた自然現象や焚き火、土器の焼成などの人為的イベントの年代を推定することができる。

当日の発表では、旧石器時代遺跡の年代測定例やデータに基いた他の年代測定結果との整合性を示す。

キーワード: ルミネッセンス, 年代測定, 放射線, 石英, 人類期, 人為的イベント

Keywords: luminescence, dating, radiation, quartz, human period, artificial event

グローバル電流回路モデルの再構築と太陽地球気候結合研究 Reconstruction of global electric circuit model and investigation of solar-climate connection

高橋 幸弘^{1*}
TAKAHASHI, Yukihiro^{1*}

¹ 北海道大学
¹ Hokkaido University

Global electric circuit, GEC, model was proposed long time ago, around 1930s, in which thunderstorm plays a role of generator, and the ground and the ionosphere work as a spherical capacitor. However, the both qualitative and quantitative understanding of GEC is not sufficient only with oversimplified model. Recently the research on the solar-climate connection is becoming the significant issue in the climate study. The GEC is one of the important concept that potentially could take a role in modulating the Earth climate. We insist on the reconstruct of GEC from two points of views: 1) taking into account the nonuniformities both of ionospheric conductivity and of the distribution of the generators, and 2) establishing the observational methodology, excluding the effect of cloud existing just above the observation sites.

キーワード: グローバル電流系, 太陽地球気候結合
Keywords: global circuit, solar-climate connection

宇宙天気予報における対流圏情報の必要性について The importance of tropospheric water vapor in space weather

石井 守^{1*}
ISHII, Mamoru^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communications Technology

宇宙天気現象は太陽を主な起源とする電磁環境擾乱であり、その社会生活に与える影響が近年様々な分野で議論となってきた。特にこれまでは太陽地球環境科学の中での学術的な議論が中心だったが、近年通信・放送・測位・あるいは航空運用、電力などの社会インフラの運用での議論が盛んになってきた。

ユーザーから見た場合には、障害の原因がどこにあるか以上に、その影響がどの程度であり、今後どの程度継続するのかが重要となる。もちろんこの2つの課題は相互に深く関連しており、障害の原因を理解することがその程度及び継続時間の予測に必要なことは言うまでもない。加えて、太陽・惑星間空間・磁気圏・電離圏などのこれまで想定してきた領域以外の影響も含めて検討しなければユーザーの要求に十分に答えることはできない。

たとえば、衛星測位の最大の誤差要因は電離圏遅延と言われているが、対流圏の水蒸気遅延も有意な量存在する。またこれを利用したいいわゆる“GPS 気象学”も盛んに研究されてきている。

NICT で開発している大気圏・電離圏結合モデル“GAIA”においても、今後水蒸気の扱いを精緻にしていくことにより、その精度を高度化していくことが期待できる。

また、ミリ波等近年利用が高まる周波数帯では降雨減衰の効果が大きく、広く電波利用を検討する際には対流圏の情報が重要なことは言うまでもない。今後、対流圏水蒸気を含めた宇宙天気予報モデルの構築が必要になっていく可能性は高いと思われる。

講演では、特に対流圏水循環を宇宙天気利用の中で考慮した際のメリットについて検討する。

キーワード: 宇宙天気
Keywords: space weather

SCOSTEP Activities toward a Better Understanding of Sun-Earth Connection

GOPALSWAMY, Nat^{1*}
GOPALSWAMY, Nat^{1*}

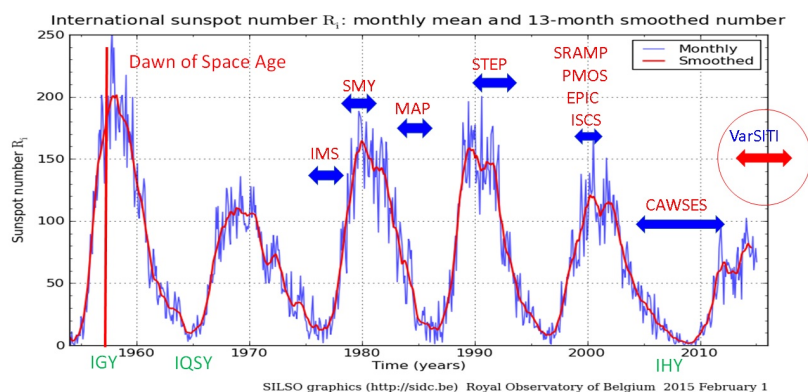
¹NASA Goddard Space Flight Center
¹NASA Goddard Space Flight Center

The Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics (SCOSTEP) was established in 1966 as an interdisciplinary body of ICSU, the International Council for Science. SCOSTEP is tasked with running long-term scientific programs in Solar Terrestrial Physics, a topic closely related to life on Earth. In addition to running the scientific programs, SCOSTEP is heavily invested in Capacity Building and in Public Outreach. During the quadrennial solar terrestrial physics symposia, scientific highlights from the ongoing scientific programs are presented and plans are made to publish scientific results to the world scientific community. SCOSTEP collaborates with other efforts such as the International Space Weather Initiative (ISWI) in running Space Science Schools. SCOSTEP is a Permanent Observer to the United Nations Committee on Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPUOS), which is used as a forum to disseminate SCOSTEP activities to the member countries. In particular, SCOSTEP participates in the deliberations of the Science and Technology Subcommittee of UNCOPUOS under the Space Weather Agenda. This talk will focus on some of the recent SCOSTEP scientific programs and the associated activities that have helped spur research in solar terrestrial physics.

キーワード: SCOSTEP, Solar Terrestrial Physics, International Cooperation, Capacity Building, Public Outreach, Sun-Earth Connection

Keywords: SCOSTEP, Solar Terrestrial Physics, International Cooperation, Capacity Building, Public Outreach, Sun-Earth Connection

Solar Variability and SCOSTEP Scientific Programs



太陽地球系結合過程 Coupling processes in the Solar-Terrestrial System

津田 敏隆^{1*}
TSUDA, Toshitaka^{1*}

¹ 京都大学生存圏研究所

¹ Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University

Coupling process in the solar-terrestrial system” aims to study the solar energy inputs into the Earth, and the response of Geospace (magnetosphere, ionosphere and middle atmosphere) to the energy input. The solar energy can mainly be divided into two parts - the solar radiation involving infra-red, visible, ultra-violet and X-ray, and solar wind which is a high-speed flow of plasma particles. The solar radiation becomes maximum at the equator; and atmospheric disturbances are actively generated near the Earth’s surface. They further excite various types of atmospheric waves which propagate upward carrying energy and momentum. On the other hand, the energy associated with the solar wind converges into the polar regions where disturbances are generated. A part of the energy is transported toward lower latitudes and lower atmospheric regions. We propose to establish large atmospheric radars with active phased array antenna at the equator and the Arctic region. Among the equatorial regions, we focus on the Indonesian region where atmospheric disturbances are most intense. We will establish a comprehensive observatory in Indonesia with the Equatorial MU (EMU) radar as its main facility. Alongside, we will take part in the construction of the state-of-the-art radar, called EISCAT_3D, in northern Scandinavia under international collaborations. We will also develop the global observation network of portable equipment from the equator to both polar regions, and study the flow of the energy and materials in the whole atmosphere.

キーワード: 太陽地球系, 結合過程, 赤道MUレーダー, EISCAT_3Dレーダー, 広域観測ネットワーク, IUGONET

Keywords: solar-terrestrial system, coupling process, Equatorial MU radar, EISCAT_3D radar, Global network, IUGONET

大気上下結合における水蒸気的重要性 Importance of water vapor in vertical coupling of atmosphere

中村 卓司^{1*}
NAKAMURA, Takuji^{1*}

¹ 国立極地研究所
¹ NIPR

Water and water vapor in the earth's atmosphere is mostly confined in the troposphere. Furthermore, the scale height of water vapor density in the troposphere is much smaller than the scale height of the atmosphere and the major part is existent around the ground level. However, the water vapor is raised to near the tropopause easily by convections and releases latent heat there. This acts as a very important heat source to derive large scale atmospheric waves and induces strong vertical coupling in the earth's atmosphere from the ground to the upper atmosphere and the ionosphere. This paper will describe the importance of such latent heat transfer by the water in the atmospheric dynamics.

キーワード: 名大, 太陽, 地球, 環境, 水蒸気, 上下結合
Keywords: Nagoya, Sun, Earth, environment, water vapor, coupling

U06-15

会場:105

時間:5月24日 15:15-15:35

ICSWSE と STEL の連携についての展望 ICSWSE and the New STEL: collaboration and cooperation in the future

羽田 亨^{1*}; 吉川 顕正¹
HADA, Tohru^{1*}; YOSHIKAWA, Akimasa¹

¹ 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター
¹ICSWSE, Kyushu University

これまで九州大学国際宇宙天気科学・教育センター (ICSWSE=International Center for Space Weather Science and Education) では、名古屋大学太陽地球環境研究所 (STEL) と連携して、世界最大の地上磁場観測ネットワーク MAGDAS/CPMN (MAGnetic Data Acquisition System/Circum-pan Pacific Magnetometer Network) を構築運用し、成果をあげてきた。また、STP 分野に於ける、アジア・アフリカ地域でのキャパシティ・ビルディング活動の牽引役としても互いに切磋琢磨している。

本講演では、新しい研究所へと改組した旧 STEL に望む機関間協力関係のあり方や、より枠組を拡げた総合研究所としてのリーダーシップに対する期待について述べる。

キーワード: 宇宙天気, キャパシティビルディング
Keywords: space weather, capacity building

高緯度電離圏に見られる磁気圏や熱圏との「縫い目」が残る現象 High-latitude ionospheric phenomena requiring a better understanding of the coupling to the magnetosphere/thermosphere

田口 聡^{1*}

TAGUCHI, Satoshi^{1*}

¹ 京都大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto Univ.

遠方の宇宙から地球の地圏や生物圏までを相互作用するシステムとして捉えようとする立場からすれば、高緯度電離圏の現象が磁気圏や熱圏とどのように結合しているのかという問題は、すでに「シームレス科学」になっているように見えるかもしれない。地球の高緯度の電離圏では、太陽風や磁気圏からの電場によってプラズマの流れが引き起こされ、その流れは中性大気の運動を誘導し、その組成にまで影響が及ぶ。太陽風や磁気圏からの物質の流入としての粒子降下は、オーロラを光らせると同時に電離圏のプラズマの構造を変え、また粒子降下に伴う熱によっても中性大気の運動が引き起こされる。一方、電離圏と中性大気の間で生み出される現象は磁気圏にも作用する。例えば、粒子降下によって増大する電離圏の電気伝導度は、磁気圏で生成される電流を制御する。粒子降下はまた、電離圏から磁気圏へ流れ出るポーラーウィンドの生成に大きく関わっている。磁気圏に流れ出たプラズマは、粒子降下の源である磁気圏のダイナミクスに影響を及ぼすことになる。

このようなつながりとそれに付随するプロセスの多くは、観測を通して十分な証拠が得られ、理解の枠組みが確立されてきている。また高精度のシミュレーションに基づく研究によって、複雑なジオメトリーにおける現象が目に見える姿に焼き直されて、さらに理解が進んできている。その一方で、証拠は不十分ではあるが一般的に解決されたと見なされていることもある。現象が、非常に幅のある時間・空間スケールをもつ場合や、多くのパラメータに支配されている場合などがあてはまる。観測から得られるデータが少ない場合、それは限られた状況のみを反映しているに過ぎないが、ある種のシナリオに合致すると一般的に解決されたと見なされてしまう。実際にはつながりの「縫い目」が存在している。

本発表では、2011年から行っているスバル諸島のロングイアーヴィエンでの全天観測、その装置とレーダーとの同時観測、DMSP衛星やST-5などの複数衛星観測から得られるデータの解釈に基づいて、高緯度電離圏の現象のうち、熱圏や磁気圏とのつながりについて、より良い理解が必要と思われるいくつかの現象を取り上げる。また、そのような現象の状況をもとに、広い領域にわたるシームレス科学を進めるにあたって生じる可能性のある一般的な問題も議論する。

キーワード: 高緯度電離圏, 磁気圏, 熱圏

Keywords: high-latitude ionosphere, magnetosphere, thermosphere

太陽地球環境における宇宙プラズマ波動の学際的研究 Interdisciplinary study of space plasma waves in solar terrestrial environments

大村 善治^{1*}
OMURA, Yoshiharu^{1*}

¹ 京大生存圏研究所

¹ Research Institute for Sustainable Humanosphere

地球磁気圏中のプラズマ波動が放射線帯の生成・消滅に深く関わっていることが明らかになってきている。磁気圏で頻繁に観測されている数 kHz のホイッスラーモード・コーラス放射は磁気圏の数十 keV エネルギー電子からエネルギーを受け取って発生する一方、一部の電子はこのコーラス放射によって相対論的な MeV エネルギーにまで加速され、放射線帯電子フラックスを形成している。一方、数 Hz の周波数帯において電磁イオンサイクロトロン波ライジングトーン放射の存在が明らかになり、この非線形波動により放射線帯の相対論的電子がピッチ角散乱されて極域大気への降込み現象を起こし、放射線帯電子の変動の原因の一つとなっていることが分かってきた。数 MeV の電子は地上数十 km の中層大気にまで到達し大気の化学過程にも影響を与えていると想定される。地球磁気圏のプラズマ波動の発生率や強度は、太陽活動度の変化によって内部磁気圏に運ばれる高エネルギー粒子フラックスによって大きく変動することから、プラズマ波動は太陽活動と大気組成の変化をつなげる役割を果たしていると言える。氷床コアに記録されている大気組成の変動から過去の太陽活動度を推測することも可能になるかもしれない。名古屋大学の太陽地球環境研究所をはじめとする全国の大学・研究機関の磁気圏プラズマ研究者が協力してジオスペース探査衛星 (ERG) が 2016 年に打ち上げられ、これによって放射線帯における非線形プラズマ波動粒子相互作用の直接観測が実現しようとしている。関連研究所の統合改組によって分野横断的な学際研究が促進されることを期待したい。

キーワード: プラズマ波動, 磁気圏, 放射線帯, 相対論的電子, 中層大気, 非線形過程

Keywords: plasma waves, magnetosphere, radiation belts, relativistic electrons, middle atmosphere, nonlinear process

U06-18

会場:105

時間:5月24日 16:35-16:55

太陽地球系科学の将来展望 Future Perspective on Solar-Terrestrial Science

星野 真弘^{1*}
HOSHINO, Masahiro^{1*}

¹ 東京大学
¹ University of Tokyo

太陽地球系科学分野においては、太陽地球環境研究所をはじめとして各大学などの教育研究機関で、太陽と地球およびその間の宇宙空間の構造やダイナミックスの研究教育を行ってきている。そしてこのような研究教育は、従来から環境問題という側面と自然界の仕組みを解明するという基礎理学の側面を併せ持っているが、環境問題追求型と基礎科学重視型の研究教育は、最終的な到達目標が同じでも、両者のアプローチは往々にして異なる場合が多いように思われる。そしてアプローチが異なることで、教育研究の視点や展開が異なる場合もあるように見受けられる。太陽地球環境研究所が、環境という切り口の中で、太陽地球系科学に果たしてきた役割を概観したうえで、将来に向けてどのような方向に発展していくのか、今後の展望および展開への期待について述べる。

キーワード: 太陽地球系科学, 将来展望
Keywords: Solar-Terrestrial Science, Future Perspective

惑星圏研究の発展方向: 惑星電磁圏・大気圏変動のモデリング・観測研究の現状とこれから

The direction of planetary environment sciences: Current and future activities of observational and modeling studies

笠羽 康正^{1*}; 三好 由純²; 寺田 直樹¹; 今村 剛³

KASABA, Yasumasa^{1*}; MIYOSHI, Yoshizumi²; TERADA, Naoki¹; IMAMURA, Takeshi³

¹ 東北大・理, ² 名古屋大・STE 研, ³ JAXA 宇宙研

¹ Tohoku Univ., ² STEL, Nagoya Univ., ³ ISAS/JAXA

本講演は、「太陽地球生命圏」科学に密接に絡む（地球が惑星の1つであることからすれば、むしろ包含するとすら言える）我が国の「惑星圏」の観測・モデリング研究の現状と将来についての一展望を提示する。

「惑星圏の研究」が目指す方向は、地球も含めた「惑星の大気現象」の、比較惑星学的・体系的な理解である。地球・火星・金星など地球型惑星、木星・土星など外惑星、そして太陽系空間や系外惑星まで、その対象は幅広く多岐にわたる。

すべての惑星は、「広い意味での大気」を持つ。「大気」の意味は広い。下層・中層・超高層・外圏に至るすべての高度域である。下層では中性大気が主、惑星の表層・内部によって決定される。高層ではプラズマが主、太陽表面に至る「惑星空間」に接続しその影響を受ける。惑星の重力・温度・歴史により、また海や地殻活動にも影響され、その容貌は多彩である。ここで生起する様々な物理・化学過程が、「惑星の環境そのもの」を決定する。地球における「環境問題」がすなわち「地球大気の問題」であることから、それは察することができよう。

我々の研究は、「最先端の道具・手法の開拓」によって推進する。すなわち、先端の「観測手段」すなわち将来衛星・探査機に搭載する新鋭観測装置、独自の地上観測手段と、先端の「数値手段」すなわち最新計算技術による数値コード、最先端のデータ解析技術を開発し、これを梃子として我が国独自の探査計画の推進のみならず、諸外国の探査機計画への参加も可能とする。これによって、国際的競争・協力のもとで活発な研究・教育活動を展開する。

2015年2月にJAXAから関係コミュニティに提示を要請された「目的・戦略・工程表」において、「惑星圏」の将来ビジョンに関わる話題は「太陽地球惑星圏」(from 地球惑星圏電磁圏探査検討グループ in SGEPPS)と「惑星科学/太陽系科学」(from 日本惑星科学会)の2つの研究領域から提出された。両者は、ここ数年行われていた学会レベルでの「長期ビジョン構築」の流れから生成されたものだが、日本の宇宙計画の現実的な制約に対する考慮も踏み込んだ、現実性と将来性をより強く織り込もうとしたものである。あくまでも初回であり、毎年のUPDATEが求められている。

本講演では、Space Missionに対する上記両者のビジョンを包含しつつ、地上観測やモデリング研究における動向も踏まえた、20年程度先の一構想を提示する。我が国のリソースを全方面に向けるのは現実問題として難しく、「強いものをより強く」「それによってより広い領域にもウイングを広げる」という形が現実的である。これは、なんらかの重点化、すなわち「多くの人がかかることができる、強い研究者間・研究分野間のインタラクションが効く戦略の上にたち、しかも野心的な舟を設計する」ことを意味する。本講演が、そのひとつの補助線を提示することになるよう務める。

太陽の周期活動およびその長期変動と地球環境 Solar Activity Cycles, Their Long-Term Variations, and the Earth's Environment

桜井 隆^{1*}
SAKURAI, Takashi^{1*}

¹ 国立天文台

¹National Astronomical Observatory of Japan

太陽は地球環境に対して、様々な波長の電磁波、高エネルギー粒子、太陽風とその擾乱 (coronal mass ejection, CME) などにより影響を及ぼす。このうち、太陽フレアや CME など短時間の現象がどのようにして地球環境を乱すかは、宇宙天気研究のテーマであり、その過程は複雑であるものの、衛星搭載装置による「その場観測」で理解が大きく進んだ分野である。一方、太陽の長期変動とその地球への影響は、長期間のデータの蓄積を必要とし、また変動の振幅も小さいので、未解明の点が多い。本発表ではこのような「宇宙気候」の研究について論ずる。

太陽の総放射エネルギー (total solar irradiance, TSI) が一定ではないかもしれず、それが気候変動の一因ではないかという考えは 19 世紀にすでにあった。スミソニアン天文台は 20 世紀の初めから 60 年以上にわたって TSI の測定を地上の高山から実施し、太陽黒点の 11 年周期活動に同期した TSI の変動を検出したと主張したが、今ではこれは、地球大気の透明度変化の補正が不十分であったためと考えられている。TSI の変動と、それが太陽の活動周期と同期していることは、1980 年代になって衛星搭載の総放射計により発見された。黒点の多い活動極大期のほうが TSI が大きい (太陽が明るい) のは、黒点は暗いものであるから一見直感とは反するが、現在では、黒点周辺のほか太陽全面にも分布している多数の輝点 (白斑) の明るさが上回るためであると解釈されている。

可視光より波長の短い、紫外線や X 線では、太陽活動に伴う強度変動はもっと大きく、紫外線で数十%、X 線では数十倍にも及ぶ。紫外線の変動は、地球の上層大気での光化学過程への影響が大きいことから、その観測は重要である。紫外域での太陽放射エネルギーの測定は 1990 年頃から衛星搭載の計測器で始まり現在に至っているが、計測器の経年変化が大きいため困難な計測である。

1980 年以前では、太陽の総放射や紫外線放射の直接の観測データはなく、代替の指標を使ってそれらを推定するしかない。可視光での H α 線やカルシウム K 線による太陽彩層の画像からそのような指標が導出できる可能性がある。最も古いのは 1904 年にあるグリニッジ天文台とインドのコダイカナル天文台のデータだが、国立天文台にも 1917 年からのデータがあり、すでにデジタル化されている。太陽電波の強度 (カナダで 1947 年から計測されているいわゆる F10.7 や、豊川で 1951 年から計測されている 4 周波数の電波強度など) や、夜天光 (IGY(1957 年)以降) のデータも利用できるかもしれない。

太陽の周期活動は、太陽内部で流体運動が磁場を増幅する「磁気流体ダイナモ機構」により維持されていると考えられている。日震学による太陽内部の回転速度分布の診断や、数値シミュレーションによる太陽対流層の流体力学的研究により、ダイナモ機構に関する我々の理解は大きく進展した。観測的には、理論と比べられるものは古くは黒点数の変化 (1610 年以降のデータがある) や、マグネットグラフによって測られる磁束の変化 (1950 年代から) に限られていたが、1980 年代から活動領域の磁場ベクトルが観測できるようになり、磁場のよじれ (ヘリシティ) の半球符号則が発見された。すなわち、分散は多いものの、活動領域の磁場は北半球では負、南半球では正のヘリシティを示す。この性質は、ダイナモ機構のうち、いわゆるアルファ機構の結果を直接表していると考えられる。一方我々は、ヘリシティの半球符号則は黒点活動の極小期には逆転する傾向があることを指摘した (Hagino and Sakurai, 2005)。このことが太陽ダイナモの性質にどのような制限をつけるのか、また次の活動サイクルの振幅に影響するものかどうか論じる。

キーワード: 太陽, 黒点, 周期活動, 太陽総放射, ダイナモ機構, 磁場観測

Keywords: Sun, sunspots, solar cycle, total solar irradiance, dynamo mechanism, magnetic field observation

太陽と地球環境について総合的研究を行う研究所 On the new solar-terrestrial institute

常田 佐久^{1*}
TSUNETAKA, Saku^{1*}

¹ 宇宙科学研究所
¹ ISAS/JAXA

私たちの住む地球は、太陽なくしては生命をはぐくむ現在の姿にはなり得ない。一方、太陽フレアが起きれば、GPSの異常、送電システムの異常電流による停止、気象衛星や通信衛星の誤動作、そして宇宙飛行士の被ばくなど、高度に発達した文明は思わぬ被害を受ける。柴田らは、ケプラー衛星のデータから地球に甚大な被害を起こす「スーパーフレア」が発生していることを示し、その確率を求めた。太陽フレアの発生を事前に察知する「宇宙天気予報」に日本を含む各国が力を入れている。日本は、過去30年にわたり「ひのとり」、「ようこう」、「ひので」と3機のすぐれた観測衛星を打ち上げており、草野らの研究に代表されるように、基礎研究の面から予報アルゴリズムの確立に貢献してきた。

一方、より長期的な時間スケールで見ると、黒点の増減で代表される太陽活動が地球の気候に顕著な影響を与えていることが分かってきた。1645年から1715年の70年間は黒点がほとんど見られなかったマウンダー極小期、1460年から1550年の90年間同様の不活動期（シュポラー極小期）は、地球が寒冷化していた記録がある。さらに木の年輪や南極の氷柱に残されたアイソトープの量から、望遠鏡の発明以前の太陽黒点数が推測されており、マウンダー極小期は過去一万年に何度も発生し、これらの時期は海水温が低下していたことがはっきりしている。今日では、黒点数に代表される太陽活動の変動は、気候変動の重要な駆動源の一つであることが確立している。

一定不変であるはずの太陽定数（宇宙空間での1平米あたりの太陽から来る全エネルギー）が0.15%ほど変動しているという驚愕する事実は、1970年以降宇宙からの太陽の観測が本格化して初めて明らかとなった。常識に反するようだが、太陽は、黒点の数の多い極大期では少し明るく、黒点の少ない極小期には少し暗い。この太陽放射量の変動は、暗い黒点とそれに寄り添うような白斑と呼ばれる微細磁束管の集合よりなる明るい領域の微妙なバランスによっており、全体として白斑の影響が勝つため、黒点が多い時期は太陽が少し明るくなる。太陽定数の変動と地球の平均気温には綺麗な相関が見えており、太陽層放射量の0.1%の変動は、約0.12度の温度変化を引き起こす。マウンダー極小期の時期には、太陽はより暗かったのだろうか？ それがありそうもないとすると、太陽活動と地球環境をつなぐ別のメカニズムが必要となる。

太陽の磁場は広く惑星間空間の広がり、銀河系空間からの宇宙線を遮る役割を果たしている。太陽活動が高いと地球に降り注ぐ宇宙線の量は減るし、太陽活動が下がれば宇宙線の量は増える。宇宙線の量が地球環境に影響を与えていると主張する研究者もいる。

過去50年間に加速された地球温暖化は、太陽の影響は二次的で温室効果ガスが主要な原因と言われている。おりしも日本の太陽観測衛星「ひので」の観測結果などから、両極域の磁場が同極性の状態であること、磁束量の低下の兆候が得られている。

これらのことから、太陽のダイナモから地球周辺と地球環境を研究する総合的研究所の必要性は明らかであろう。このためには、近接分野を糾合した学際的研究所が必要であり、名古屋大学STE研、地球水循環研究センター、年代測定総合研究センターが統合して1つの研究所となり、今後ますます重要となる太陽-地球・惑星系科学のシステム的アプローチとミッションとすることは、国際的にもまことに時宜になっており、関係者の英断に敬意を表したい。

キーワード: 太陽地球環境
Keywords: solar terrestrial environment