

地球電磁気学・地球惑星圏科学の現状と将来

要約版

地球電磁気・地球惑星圏学会

2013年1月

目次

1 はじめに.....	1
1.1 地球電磁気学・地球惑星圏科学の特徴.....	1
1.2 本将来構想の策定における考え方.....	1
2 地球電磁気学・地球惑星圏科学の現状と科学課題.....	3
2.1 太陽活動により変動する太陽地球圏環境の解明.....	3
2.1.1 磁気圏・電離圏での時空間・エネルギー階層間結合.....	3
2.1.2 地球圏に影響を及ぼす太陽風・太陽放射.....	4
2.1.3 地球気候に対する太陽活動の影響.....	4
2.1.4 内部・外部太陽圏研究.....	4
2.1.5 太陽研究.....	5
2.2 宇宙につながる大気圏・電磁気圏環境の解明.....	5
2.2.1 下層大気から中層・超高層大気への影響と緯度間結合.....	6
2.2.2 中性大気・プラズマ相互作用.....	6
2.2.3 電離圏と磁気圏との間の領域間結合過程.....	7
2.2.4 地球温暖化や気候変動との関わり.....	7
2.3 多様な惑星圏環境の統一的理解.....	8
2.3.1 磁化天体における時空間・エネルギー階層間結合の統一的理解.....	8
2.3.2 大気流出過程および惑星大気進化の統一的理解.....	9
2.3.3 惑星大気の統一的理解.....	9
2.3.4 惑星ダイナモの統一的理解.....	9
2.4 宇宙プラズマ・地球惑星大気における物理素過程の理解.....	10
2.4.1 宇宙プラズマ物理.....	10
2.4.2 弱電離プラズマ・中性大気の物理.....	11
2.5 地球および月・惑星の電磁場変動、古磁場環境の解明.....	12
2.6 電磁場観測による地球内部の状態や変動現象の理解.....	13
2.7 岩石・堆積物が担う磁化の物理の解明とその応用.....	15
2.8 太陽地球系と地球内部を結ぶ科学課題.....	16
3 人類活動を支える知識基盤の構築.....	18
4 研究推進に必要な技術開発・環境整備.....	19
4.1 観測技術開発.....	19
4.1.1 太陽地球系科学分野の機器開発.....	19
4.1.2 固体地球研究分野の観測・分析機器開発.....	21
4.2 計算機シミュレーション・モデリング.....	21
4.3 データシステム.....	22

4.4 情報数理技術.....	24
4.4.1 データマイニング技術.....	24
4.4.2 データ同化技術.....	25
5 研究推進のために必要な施策・組織.....	26
5.1 研究推進のために必要な施策.....	26
5.2 共同利用拠点を含めた大型研究機関の重要性.....	30
6 学会と社会の関わり・研究者の働き方の多様性.....	33
6.1 はじめに.....	33
6.2 パブリック・アウトリーチ活動.....	33
6.3 学校教育に対する働きかけ.....	34
6.4 研究者の充実したライフスタイルの実現.....	34
資料.....	36

1 はじめに

1.1 地球電磁気学・地球惑星圏科学の特徴

地球電磁気学・地球惑星圏科学の源流のひとつである地球電磁気学は、17世紀初頭に地球が磁石であることが理解されるようになって以降、大きく発展してきた。我が国では、田中館愛橘らによる全国の地磁気観測をはじめとして、寺田寅彦による地磁気脈動の解析など、明治から大正にかけて地磁気の観測が行われていたが、第2次世界大戦後の地磁気や電離層の研究機運の高まりにより、本学会の前身である日本地球電気磁気学会が1947年5月に設立された。その後、地球内部起源の地磁気の研究は、地球内部のコアやマントルのダイナミクスによる地球磁場の成因やその永年変化、地球内部の電気伝導度の研究に発展するとともに、地震、火山、海流などの研究へも応用されてきている。一方、地磁気脈動などの外部起源の地磁気変動の研究は、電離圏から磁気圏、惑星間空間、太陽や、超高層大気とその下層大気とのつながりにも発展し、またその研究は、さらに地球以外の他惑星の磁気圏、電離圏、大気、固体惑星内部の研究へ応用されてきた。この広がりに伴い、本学会は1987年に地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）へ改称している。

このように現在の地球電磁気学・地球惑星圏科学は、地球惑星内部から太陽までの広い範囲を包含する、という大きな特徴を持っている。また、この中の宇宙プラズマや大気の研究は、直接測定ができる自然の宇宙実験場として、宇宙プラズマや大気の普遍的な物理素過程の研究につながっている。さらに、地球内部の電気伝導度の研究手法が火山内部の状況の把握に用いられ、測位衛星に代表されるような人類の宇宙利用の発展に伴って、電磁気圏の研究成果が人工衛星の運用に必要な宇宙天気予報の精度向上に活用されるなど、これまで純粋に理学的な興味で行われてきた研究が、実用科学の側面も強くなってきた。また、オゾンホールや地球温暖化によって地球環境変動の重要性が認識されるようになり、地球電磁気学・地球惑星圏科学は地球環境科学の一部としての重要性も増している。

地球電磁気学・地球惑星圏科学のもう一つの特徴として、対象とする領域を測定する技術が多岐にわたって発展してきた、という点も挙げられる。本学会の研究は、人工衛星などの飛翔体による宇宙空間での直接測定、大型レーダーや分光機器に代表される電波や光を使ったリモートセンシング、スーパーコンピュータによる数値実験などを駆使して多面的に行われている。

1.2 本将来構想の策定における考え方

本学会に関連した将来構想の策定は過去には、例えば1991年の「地球電磁気学の発展的将来」、2005年の「21世紀の地球電磁気学」などが日本学術会議・地球電磁気学研究連絡委員会（地球電磁気研連）によってまとめられてきた。10年ごとに将来計画を構想する、という考え方に立つなら、前回の2005年から10年を待たずに次の構想をまとめるには少し時期が尚早とのご意見もあるかもしれない。しかし、現在の当学会を取り巻く状況は、

日本学術会議や日本地球惑星科学連合などによる大型研究計画やロードマップのとりまとめの動き、我が国の人工衛星計画の将来像の変化、学会員が所属している大学・研究機関の連携・共同利用などの研究体制の変化や組織の将来計画をはじめ、様々な状況がめまぐるしく変化しており、今まさに、学会としての将来計画を明確に外部に発信していくことが求められている。こうした情勢を鑑みて、当学会では2012年5月に将来構想検討ワーキンググループを発足させ、学会としての将来構想をまとめる事とした。

本まとめでは、まず2章で地球電磁気学・地球惑星圏科学に関する現状と科学課題を各分野において挙げている。続いて3章で、人類活動を支える知識基盤の構築として、特に本学会の実用科学の側面に関して記述した。4章では、これらの研究推進のために必要な技術開発・環境整備をまとめ、5章では、研究推進のために必要な施策と、共同利用拠点を含めた大型研究機関の重要性をリストアップした。最後に6章で、研究教育体制およびアウトリーチに関して記述した。

なお、本将来構想は、本編とその要約版を作成しており、この冊子は要約版である。2013年1月の時点でどちらも一旦完成版とし、冊子体の配布及び学会ホームページでの公開を行うが、それぞれの分野の発展や状況の変化に応じてホームページの版は随時更新することとし、更新は当学会の運営委員会が対応することとした。

2 地球電磁気学・地球惑星圏科学の現状と科学課題

2.1 太陽活動により変動する太陽地球圏環境の解明

地球周辺の宇宙空間であるジオスペースの中の電磁気圏や大気圏では、太陽や宇宙からの粒子・電磁エネルギーの流入によって様々なプラズマ現象や大気現象が発生し、サブストームや磁気嵐に代表される大規模な擾乱現象が起こる。本節では、太陽系に住む我々人類にとって欠かせない「太陽活動と地球の関係」をよりよく知るという観点に立ち、電磁気圏・大気圏および太陽圏・太陽における主要な研究課題について述べる。

2.1.1 磁気圏・電離圏での時空間・エネルギー階層間結合

磁気圏・電離圏の研究は、定常・平均的描像の理解からはじまり、その後の観測やシミュレーション研究の進展により、非線形・非定常過程および異なるスケール間の動的な結合（スケール間結合）の重要性が指摘されるようになった。さらに近年、多点ネットワーク観測と高時間分解能観測が実現され、スケール間結合の重要性がさらに認識されるとともに、磁気圏-電離圏結合のように異なるプラズマ環境間の結合（領域間結合）、さらに内部磁気圏等で見られるプラズマ波動を介した、異なるエネルギー階層間のプラズマ・粒子の動的な結合（エネルギー階層間結合）の重要性も認識されるようになってきている。今後の研究においては、特に以下の研究課題を推進することが重要である。

磁気圏-電離圏結合については、大規模な沿磁力線電流システムの中に埋め込まれた時空間的に階層化された構造の各変動が、主にどの現象の変化を担うかを明らかにする必要がある。そのためには、高時間・高空間分解能の観測と、メソスケールや巨視的スケールの複合的な観測を、磁気圏の「その場」観測と電離圏の地上観測を組み合わせることで重要である。

内部磁気圏におけるエネルギー階層間結合については、赤道面付近においてプラズマ総合観測が今後予定されており、内部磁気圏のダイナミクス（磁気嵐時の変化、放射線帯高エネルギー粒子加速など）に与える影響の理解が大きく進むことが期待される。

磁気圏尾部を中心とした時空間結合・エネルギー階層間結合については、サブストームの開始メカニズムの解明に向けて、磁気圏および電離圏（地上）での様々な観測を組み合わせるとともに、開始直

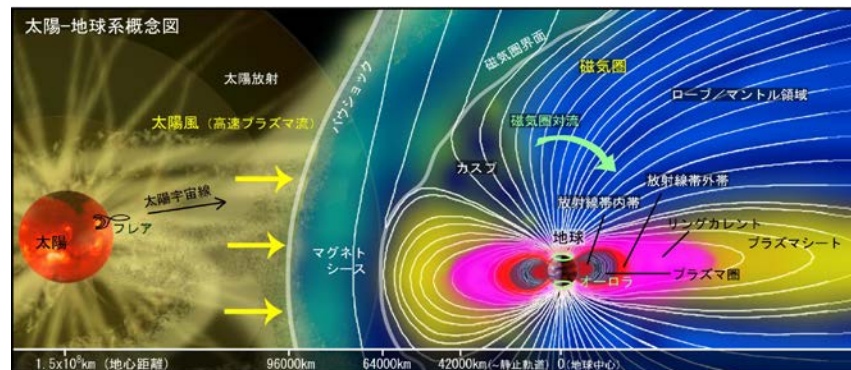


図 2.1 太陽-地球圏の領域と生起する現象

前に現れる微細なオーロラの構造の役割などの過渡的かつ微細な現象にも注目した研究が必要である。

2.1.2 地球圏に影響を及ぼす太陽風・太陽放射

地球電磁気圏や大気圏で発生する多くの物理現象は、太陽からのエネルギーの流出である太陽風・太陽放射の変化に起因する。1990年代以降、太陽風の連続観測が可能となり、太陽風の大規模構造に対するジオスペースの応答や、サブストーム等の擾乱を引き起こす太陽風の特性が解明されつつある。また、地磁気急始（SC）や過遮蔽電場構造のように太陽風の過渡的な変化に対する応答の理解も進められている。さらに、太陽風から磁気圏へのプラズマ侵入過程についても、その素過程についての研究が大きく進んでいる。電磁気圏研究にとって、今後も継続した太陽風の観測が重要であることは言うまでもないが、太陽風の3次元構造のダイナミクスの理解や、予測研究も重要になる。さらに、極端な太陽風状態に対する磁気圏の応答については、太陽風・電磁気圏での観測事例を積み重ねるとともに、数値シミュレーションを駆使した研究が必要になる。

太陽からの紫外線・X線放射の変動や、太陽高エネルギー粒子（SEP）の侵入も、地球圏に大きな影響を及ぼしている。CHAMP等の衛星と地上のネットワーク観測の連携により、中性プラズマ相互作用による熱圏風変動、大気循環、伝播性擾乱の研究が大きく進展してきている。今後は、各領域での個別の現象の理解を普遍的な描像へと体系化すること、さらに観測を充実させ、データ同化による現象の予測へ進展させる必要がある。

2.1.3 地球気候に対する太陽活動の影響

太陽活動が地球の気象・気候に影響を与える可能性については古くから多くの研究があり、それを示唆する現象の報告やメカニズムの提案は少なくない。数日のものから11年周期、マウンダーミニマムのような数10年のもの、さらにはミランコビッチサイクルの数万年から10万年まで、幅広い時間スケールの現象が扱われる。しかしながら、太陽活動の地球気候への影響については、定説が存在しておらず、その同定が今後の課題である。特に、(i) 銀河宇宙線、(ii) 紫外線、(iii) 太陽定数、(iv) 大気電気のグローバルサーキットの4つの項目およびその組み合わせが気候にあたえる可能性について、定量的な検討が必要である。

2.1.4 内部・外部太陽圏研究

太陽表面からは常に太陽風が惑星間空間に向かって噴き出し、太陽圏を形成している。太陽圏においては、コロナ質量放出（CME）や共回転相互作用領域（CIR）のような大規模構造が発達し、地球磁気圏と相互作用することで大きな擾乱を引き起こし、宇宙天気にも大きな影響を引き起こす。近年では、Voyager 探査機による太陽圏終端部の直接観測や、IBEX 探査機による太陽圏構造の可視化など、太陽圏の全体構造の理解も急速に進みつつあ

る。特に Voyager 探査機の観測からは、宇宙線異常成分（ACR）の起源が従来考えられているのとは異なっていることが指摘され、大きな注目を集めている。また、惑星間空間シンチレーション観測のようなリモートセンシングによって、太陽風中の空間構造の解明も進められている。

今後、内部太陽圏においては、特に、将来の BepiColombo（日欧共同水星探査ミッション）、Solar-Orbiter、Solar Probe+などの太陽近傍における「その場」観測によって、太陽風加速・コロナ加熱問題や、太陽風中の素過程（不連続構造、乱流、非熱的粒子、イオン組成など）の理解が大きく進み、太陽と太陽圏の結合過程の解明が進んでいくことが期待される。ここでは、日本のコミュニティの強みでもある惑星間空間シンチレーション観測の一層の強化も、太陽活動・太陽風の変動解明の観点から不可欠である。太陽圏外縁領域においては、太陽圏領域の同定、太陽圏終焉部の構造の解明、太陽圏構造の太陽活動依存性、Voyager 探査機によって疑問が投げかけられた ACR の起源の解明などが重要な課題としてあげられる。

2.1.5 太陽研究

太陽の研究は、1990 年代の太陽観測衛星「ようこう」の観測以降、その理解が大きく進み、特に磁気リコネクション過程が太陽フレア時の爆発的なエネルギー開放を引き起こすという描像が確立した。また、「ひので」衛星の観測によって、対流・乱流に駆動される光球・彩層の活動性が明らかになり、極域コロナホールにおける強磁場小領域の発見など、太陽風加速や太陽活動の長期変動に関する知見も得られた。

今後の太陽研究の重要課題は、太陽大気ダイナミクス・加熱の物理過程を定量的に理解することと、太陽磁場の生成および太陽周期活動の起源を解明することである。前者の理解については、高解像度かつ高精度の偏光分光観測が、後者については太陽極域の探査が重要である。

2.2 宇宙につながる大気圏・電磁気圏環境の解明

地球の大気圏・電磁気圏環境は、2.1 節に述べた太陽や宇宙からの粒子および電磁エネルギーの流入による影響に加え、下層大気で励起された大気波動によるエネルギーや運動量の輸送、温室効果ガスの増加等の様々な要因により短期的・長期的な変動を示す。地上付近や下層大気の変動が、中層および超高層大気にどのような影響を及ぼし、我々の生活にどのように関わるのかを提示することは、当研究分野に課せられた重要な使命である。さらに、超高層大気の現象がより上空の磁気圏に与える影響を理解することもジオスペース全体の解明に重要である。本節では、下層大気からの影響と地球大気の全球的な結合という観点に立ち、大気圏・電磁気圏における主要な研究課題について述べる。

2.2.1 下層大気から中層・超高層大気への影響と緯度間結合

下層大気で励起された大気波動は、中層・超高層大気の熱的・力学的構造に大きな影響を与えているが、その定量的理解には至っていない。今後、大気領域間を結びつける重要なプロセスとして、様々な大気波動の理解が従来以上に求められる。特に、(1) 大気波動の励起源となる赤道域の積雲対流に関する力学・雲物理過程、(2) 大気波動の伝搬と消失、(3) 大気波動の消失に伴って発生すると考えられる乱流や二次的な大気波動の全球規模での特徴とその熱圏への影響、(4) 大気波動による電離圏プラズマ構造の変調過程や電離圏擾乱を誘起する過程や条件、を理解する必要がある。大気の上下結合に関する研究は、まだ現象報告的であり、今後これらの現象の定量的かつ総合的な解明が、地球大気全体の理解にとって重要である。

下層大気に比べて超高層大気を対象とする研究は、全球観測が不十分であるため、熱圏大気質量密度の半年周期変動の原因などの基本的な描像についても多くの未解明問題が残されている。特に、磁気嵐に伴う全球的な熱圏・電離圏変動は重要な研究課題であるが、その現象を予測するには至っていない。赤道から極域に跨る現象の全体像を捉えるための総合的な観測とモデリング研究の推進が望まれる。宇宙通信や衛星運用等の観点からも、熱圏大気・電離圏電子密度の変動予測の高精度化が必要である(3章参照)。

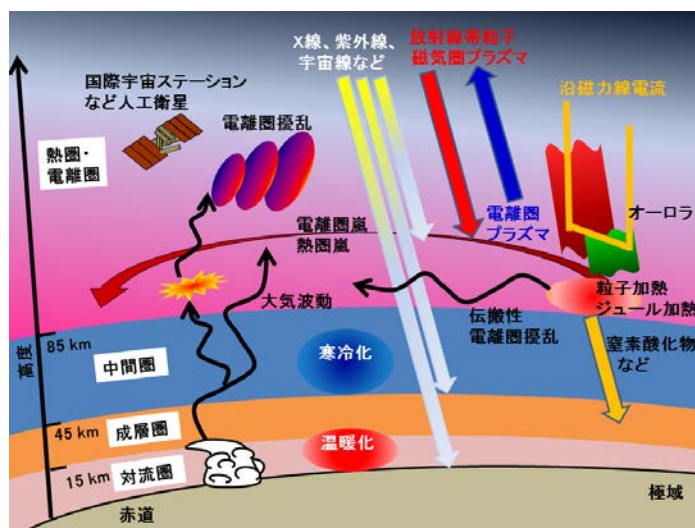


図 2.2 様々な要因により変動する大気圏・電磁気圏環境

2.2.2 中性大気・プラズマ相互作用

超高層大気は、その一部が電離し、中性大気とプラズマとが混在した領域(電離圏)になっている。中性大気の運動は電場を駆動し、電磁気的な作用をプラズマにもたらす。従って、電離圏に生起する様々な現象を理解するためには中性大気・プラズマ相互作用を理解する必要がある。全球規模で生成されるダイナモ電場が電離圏構造に大きな影響を与えていることは以前から知られていたが、それに加えて、赤道プラズマバブルや、中緯度に発生する伝搬性電離圏擾乱、さらに、それらの内部に発生する微小スケールの電離圏擾乱の生成にも分極電場が関与していることが近年明らかになりつつある。この分極電場は、プラズマ不安定によりもたらされると考えられるが、その線形理論では定量的に説明でき

ないため、下層大気から伝搬する大気波動がプラズマ不安定を誘起する“種”としてはたらくことの重要性が指摘されている。一方で近年、プラズマから中性大気に与える影響が従来予想より非常に大きいことが示唆されている。特に、磁気赤道上の熱圏風が地球の自転速度よりも高速で吹くスーパーローテーションや、極域における電流系の発達とエネルギー流入によって起こる下部熱圏の中性大気変動の物理過程は、未だ理論的に説明できていない。これら中性大気とプラズマとの相互作用を理解することは、ジオスペースに生じる様々な現象を理解するために必要不可欠である。

2.2.3 電離圏と磁気圏との間の領域間結合過程

2.1節で述べた磁気圏から超高層大気への多大な影響に加え、地球大気・電離圏から磁気圏への影響の重要性も認識されつつある。特に電離圏は、その電気伝導度の空間非一様性などを介して、磁気圏－電離圏結合における能動的な役割を果たしていると考えられる。このことは、オーロラ降下粒子エネルギーの日照・日陰による違いや、オーロラ加速域および沿磁力線電流の南北非対称性の研究から理解が進んできている。また、磁気圏電場を起源とするサブオーロラ帯の高速プラズマ流は、熱圏中性大気との相互作用を通して電場を生成し、その電場を磁気圏にフィードバックする。これらの過程は、磁気圏－電離圏－熱圏の相互作用の重要性を示しており、この相互作用の定量的な理解を深めることが今後求められている。

電離圏プラズマの磁気圏への流出も領域間結合過程を理解する上で重要である。たとえば、電離圏から流出した酸素イオンなどの重イオンにより、磁気圏内のイオン組成比が変化する結果として、サブストームの発生確率が変動する可能性が注目されている。また、重イオンがリングカレントの発達に与える影響や、そのような高エネルギーイオンの起源についても理解を深める必要がある。物質循環という観点から、地球起源イオンが磁気圏・宇宙空間へ流出する経路や総量の理解が重要である。さらに、数億年以上の長い時間スケールでの地球大気の変遷も明らかにすべき課題である。

2.2.4 地球温暖化や気候変動との関わり

人間活動に起因する大気中の温室効果ガスの濃度増大による地球温暖化は、全世界的な関心事であるが、中層・超高層大気では、赤外放射冷却効果の増大のため、逆に寒冷化が起きている。中層・超高層大気は大気密度が小さいため、下層大気に比べて気候変動の影響が顕著に表れる。そのため、地表では地球温暖化の有無やその程度を認識できない場合でも、前駆的変動を中層・超高層大気中のシグナルから発見できる可能性がある。そのためには、過去の中層・超高層大気観測データをデータベース化して解析するとともに、現在の観測の長期間継続が極めて重要である。中間圏界面や成層圏に出現する夜光雲や極成層圏雲は、地球温暖化（中層・超高層大気では寒冷化）の指標となり得るが、これらは大気中の微量成分濃度とも密接に関連しており、光化学過程の解明も必要である。加えて、

地球温暖化による下層大気循環の変動によって上方伝搬する大気波動の長期変動が起こることや、オゾンホールの変動も中層・超高層大気循環に影響することが指摘されているが、定量的理解は充分ではない。これらの影響の定量的な見積もりのためには、対流圏変動を表現可能な数値モデルや大気の光化学過程を含む数値モデルによる研究を長期観測と連携した形で推進することが必要である。

2.3 多様な惑星圏環境の統一的理解

惑星圏の研究においては、個々の惑星の科学課題の追求に加えて、比較惑星学的な観点が必要となる。惑星圏研究の多くは、精密観測が可能な地球における支配物理の探求を基軸として、それを拡張・発展させることにより、惑星ごとの多様なプラズマ環境、大気環境、表層環境、内部構造、およびそれらの結合を、比較惑星学的な見地から統一的に理解するという問題意識に根ざしている。そして太陽系の直接探査によって実証的に構築された理論体系を、太陽系外惑星や、太陽系内惑星の過去（未来）の条件に適用することで、中心星と惑星系の普遍的な関係や、遍く宇宙に生起する多様な惑星プラズマ現象、大気現象、固有磁場生成、大気進化・分化などの更なる原理的な理解を目指している。本節では、惑星圏研究における主要な研究課題について述べる。

2.3.1 磁化天体における時空間・エネルギー階層間結合の統一的理解

(1) 2.1 節で述べた時空間・エネルギー階層間結合を介した非熱的な粒子加速機構の解明は、水星、木星、土星、天王星、海王星などの、磁化天体に共通する重要課題である。太陽系最大の固有磁場強度を持ち、太陽系最大の巨大加速器という側面を持つ木星の磁気圏では、磁気圏のほぼ全領域にメガ・エレクトロンボルト (MeV) 帯の非熱的な高エネルギー粒子が存在する。一方で、磁気圏のサイズが地球の 1/20 程度と小さく、磁気流体力学近似が成立するぎりぎりの下限点に位置する水星の磁気圏では、極域や夜側において数十～数百キロ・エレクトロンボルト (keV) の加速電子のバースト現象が報告されている。このような多様な固有磁場強度を有する惑星・衛星・小天体の研究にあたって重要となる視点は、固有磁場強度と非熱的な粒子加速性能の関係性を明らかにすることである。今後は特に、地球で探求が進むエネルギー階層間結合・領域間結合過程の発現・競合・干渉が、固有磁場強度に応じてどのように変化するかを調べ、スケール則の適用可能範囲を明らかにする必要がある。また、

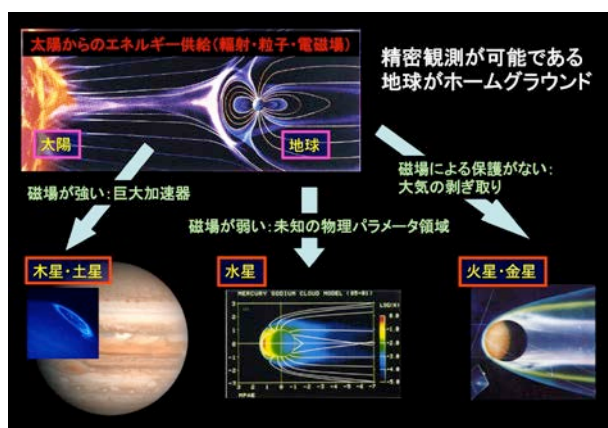


図 2.3 地球から惑星への電磁気圏・大気圏研究の発展

(2) 惑星本体の自転の効果が領域間結合過程に及ぼす影響や、(3) 惑星と衛星の結合過程、(4) 大気が希薄な天体における領域間結合過程などを明らかにすることも重要である。

2.3.2 大気流出過程および惑星大気進化の統一的理解

グローバルな固有磁場を持たない天体である金星、火星、彗星、土星の衛星タイタンなどでは、固有磁場による保護がないために、太陽風が天体の超高層大気に直接作用し、天体の大気保有量に影響を及ぼすほどの大量の大気が宇宙空間に流出（散逸）する。これらの天体の今後の研究においては、2.2節で述べた地球などの磁化惑星と共通する散逸過程に加えて、非磁化惑星に特有の大気の叩き出し（スパッタリング）過程や太陽風-電離圏粘性相互作用過程などの各種大気・プラズマ散逸過程を観測に基づいて実証的に解明する必要がある。太陽系内天体の直接観測で得られた散逸過程の知見は、超高層物理学やプラズマ物理学の進展に貢献するとともに、太陽系内外の天体大気の進化と分化の理解、生命が存在可能な天体の成立条件の理解に寄与する。

2.3.3 惑星大気の統一的理解

惑星大気に関する研究は、これまで個々の惑星にみられる特徴の理解を中心に発展してきたが、惑星に共通する支配原理の抽出には至っておらず、その統一的理解は今後の重要な課題である。たとえば、太陽系の惑星の気象がそれぞれ大きく異なる理由、惑星の雲やエアロゾルの生成において凝結核や様々な大気種が果たす役割、大気中の物質輸送が大気成分の宇宙空間への散逸に果たす役割の解明が課題として挙げられる。惑星大気の今後の研究では、大気力学とそれがもたらす物質輸送、またその過程における化学物質の変質について、異なる条件下にある惑星で素過程を比較することにより共通原理の理解を目指す。そのために、惑星周回機によるリモートセンシングを中心に着陸機や地上望遠鏡による観測も組み合わせ、気象場と様々な化学種に対して高時間・空間分解能の三次元観測を行う。新たな観測データを統合解釈するために大規模な数値モデルの開発とそのため研究体制の構築も重要である。同時に、惑星分野では従来別々に研究されてきた下層大気と上層大気・電離圏をひとつながりの系としてとらえる視点を確立する。

2.3.4 惑星ダイナモの統一的理解

地球のように固有磁場を有する天体（水星、木星、土星、天王星、海王星、木星の衛星ガニメデなど）の内部には、高い電気伝導性をもつ流体が存在し、その流体運動によって生じるダイナモ作用によって、各天体の固有磁場が生成・維持されている。天体の固有磁場は多様性に富んでおり、例えば衛星の中でもガニメデだけが全球的な磁場を有している。また、水星やガニメデのダイナモ作用は継続している一方で、より大きな火星や金星のダイナモ作用は停止している。このような天体の固有磁場の多様性を生む原因を理解することは、地球・惑星電磁気学の最も根源的な課題の一つである。惑星ダイナモの今後の研究

においては、実際の天体に近いパラメータを用いた数値実験や、比較的融点が高い金属を用いた電磁流体の室内実験を通して、ダイナモ作用の物理の理解を進めるとともに、周回衛星による詳細な磁場マッピングによって各天体の磁場の空間分布とその時間変動を理解することが求められる。固体惑星・固体衛星の電磁探査によって内部の電気伝導度構造を推定することも、天体の起源・進化の理解に繋がる重要な課題である。

2.4 宇宙プラズマ・地球惑星大気における物理素過程の理解

地球電磁気・地球惑星圏研究は、観測対象の広がりや周辺の関連する研究分野との交流を通して、観測される物理現象をより普遍的に理解し、関連分野に応用しよう、とする試みが行われるようになった。言い方を変えれば、地球、惑星、宇宙空間を自然の実験室と捉えて、自然現象を相手にその素過程を理解することを目的とした研究が広く行われるようになりつつある。

2.4.1 宇宙プラズマ物理

宇宙プラズマ研究においては、探査衛星による「その場」観測によって、地球周辺の宇宙プラズマの躍動的な素顔を次々と明らかにしてきた。いわゆる天体物理学に代表されるような「宇宙」を舞台とした研究では、多くの場合対象までの物理的距離が大きすぎるため、観測手段としてリモートセンシングが用いられる。これに対して宇宙プラズマ研究が対象としてきた宇宙空間は、「その場」観測が唯一可能な領域であり、“そこでこそ”あるいは“そこでのみ”得られる精密な知見が宇宙プラズマの普遍的な価値を持ち得る、という問題意識が高まっている。衛星「その場」観測では、電磁場を波動成分まで含めて観測し、荷電粒子をひとつひとつ計測してその速度空間分布関数を決定する。この観測によって始めて“実証的に”宇宙プラズマ物理を研究できるということが、我々の研究分野の大きな特色である。そして今や、直接その場観測が可能な領域は地球周辺から太陽圏(太陽を起源とするプラズマの勢力圏で百数十天文単位の空間的広がりを持つ)終端にまで広がっている。また、我々の研究対象とする宇宙プラズマは、非磁気流体力学的な(運動論的な)プラズマの振る舞いの研究に適しているだけでなく、磁気流体

地球周辺で“鍵”となる宇宙プラズマの物理素過程

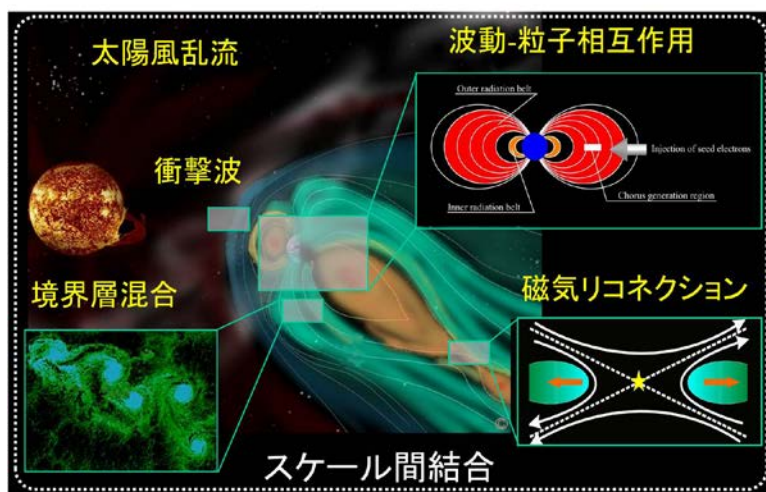


図 2.4.1 スケール間結合

力学的なマクロスケールな現象と運動論的なミクロスケールの現象のダイナミックなカップリング（スケール間結合）という考え方が、宇宙プラズマ現象の鍵となる物理素課程の理解に重要であることがわかってきた。地球磁気圏周辺で鍵となる素課程として「磁気リコネクション」「衝撃波」「境界層混合」「波動・乱流」等や、これらと深く関連して「粒子加速」といった現象の研究が活発に進められ、惑星科学、天文学、物理学、等の周辺関連分野との研究交流を進めながら、地球周辺空間にとどまらず、より普遍的に宇宙プラズマ物理の研究へと発展しつつある。今後、さらにスケール間結合の複雑なプロセスをより実証的に解明することを目指して、大規模な数値シミュレーションやマルチスケールな衛星観測、等の新しい研究手段の実現が望まれている。

2.4.2 弱電離プラズマ・中性大気の物理

電離圏から中層大気を研究対象とした場合、観測手段（地上レーダー、気球、ロケット、衛星等）の発展にともない質・量ともに充実した観測データが得られるようになったことで、「弱電離プラズマ」や「中性大気」におけるダイナミクスや乱流に関する実証的な研究が進められている。例えば、地球電離圏内には様々な空間スケールの電子密度構造を有するが、これらのプラズマ構造の形成過程を、共通のプラズマ素過程として普遍化して理解するような研究が進んでいる。地上・衛星観測が充実している地球電離圏においてプラズマ構造の発達過程を研究することによって、他天体（惑星電離圏、太陽、恒星）の現象とのアナロジー研究が可能となる。今後、更に高い時空間分解能を持つ観測機器によって測定を精密化し、数値シミュレーション等と共に弱電離プラズマ中のプラズマ構造化プロセスの理解を通して、他天体へ応用可能な普遍的な理解へ繋げるべきである。また、宇宙空間中における宇宙機の推進機関（電気推進機関）の研究と弱電離プラズマ素過程研究の間で相互交流が図られるようになり、今後の更なる交流の深まりと進展が期待される。

一方、更に下層の中性気体が支配的な中層大気におけるダイナミクスの理解の進展も著しい。この領域では、大気波動が運動量やエネルギーの輸送に果たす役割の重要性が明らかになってきているが、一方で高度 100 km の大気で物質やエネルギーの鉛直拡散で重要な働きをする乱流についてはその観測的な研究は大幅に遅れている。問題を

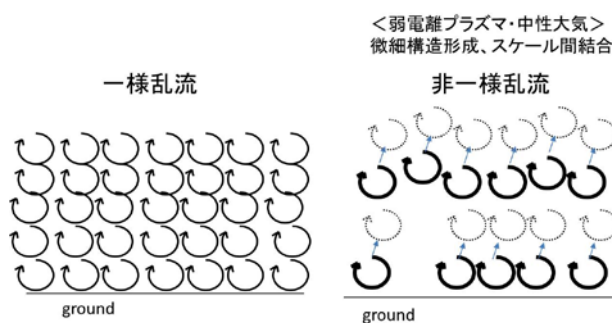


図 2.4.2 非一様乱流

難しくしているのは、乱流が統計的一様性を保たず、現実の大気の状態に応じて様々な時空間構造に変調される非一様な乱流だからである。このような状況で特に重要なのは観測技術の新展開であると思われ、ロケットによる高分解能の大気物理量観測、レーダーのイメージング等による高分解能の大気 3 次元構造観測等にとどまらず、さらに一層のプレー

クスルー・技術革新が望まれる。地球大気における乱流の実態解明は、惑星大気や太陽面における乱流の役割の理解においても重要である。

弱電離プラズマ、中性大気においても大域的なダイナミクスの中に埋め込まれた様々なスケールの構造形成と、形成された構造による大域的なダイナミクスへの影響という、宇宙プラズマと同様に「スケール間結合」が物理素過程の理解のキーワードとなっている。

2.5 地球および月・惑星の電磁場変動、古磁場環境の解明

様々な時間スケールで変化している地磁気の特徴とその成因を知るためには、面的な地磁気観測網のさらなる拡充と継続、古地磁気・考古地磁気学的手法による過去の磁場変動・分布の詳細な復元、数値実験による地球内部ダイナミクスの理解が必要である。また、月や惑星における電磁場観測のような、比較惑星学的アプローチによる研究も重要である。

長い時間スケールの磁場変動を扱う研究においては、定期的な絶対観測により精度が保証された良質な地磁気観測所データが不可欠である。現存する観測所の維持と僻地や海域等への観測点網の更なる拡充のためには、自動絶対観測システムの構築が喫緊の課題である。また、1999年以降、人工衛星によって面的な地磁気観測が行われ、地磁気分布の把握は飛躍的に向上した。しかし、ヨーロッパを中心に進められている SWARM 衛星計画 (2013年打ち上げ予定) 以降はこのような観測計画はない。我が国が人工衛星地磁気観測を主導する時期にきており、小型衛星の積極的な利用を含めて検討すべきである。

古地磁気学的研究には、時間的に連続な長期地磁気変動の復元が特に期待される。このためには、統合国際深海掘削計画 (IODP) で採取される数百メートルもの長さにわたる海底掘削試料の存在は重要であり、今後も同計画を推進すべきである。また、これらの情報と陸域の古地磁気データの比較・統合についても検討を進める必要がある。一方、地磁気変動の統計的な特性解明のため、様々な年代の火山岩から得られた古地磁気情報のコンパイルも推進すべきである。古地磁気測定に際し、微小試料の測定を行うことが求められるが、近年発展を遂げている超高感度磁気測定技術をより積極的に導入するとともに、天然試料に特化した独自の技術開発も行うべきであろう。

地球ダイナモ数値実験では、現実の地球に近いパラメータを用いた数値実験を実現する必要がある。このためには地球シミュレータや京のような計算資源や GPU の活用は不可欠である。特に今後は 1 万個を優に超えるプ

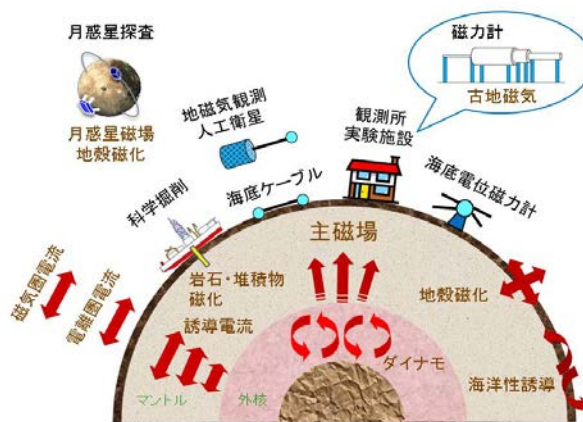


図 2.5 固体地球分野における電磁気観測

ロセッサによる超並列計算が主流になると見込まれるため、計算科学分野と連携し、計算資源を最大限に活用できる新しいアルゴリズムとコードの開発が必要である。また、マントル-外核-内核の相互作用を考慮した数値実験結果と観測された地磁気変動との比較や、より短い地磁気変動の再現を試みることにより、地磁気変動の原因や地球内部ダイナミクスの解明が進むことが期待される。

月や火星を周回する人工衛星による観測は、これら天体の内部構造、ダイナミクス、進化について様々な議論を提起してきたが、磁場観測もその重要な一翼を担っている。月や惑星の構造やダイナミクスをさらに理解し、それを固体地球の理解に還元するためには、月や惑星の表面における直接電磁場観測が重要である。月・惑星表面で使用できる観測機器の開発を継続するとともに、ペネトレータ技術を用いた多点磁場計測、人工信号を用いた能動的探査などの挑戦的課題に関する技術開発も進めていくことが望まれる。

2.6 電磁場観測による地球内部の状態や変動現象の理解

地球電磁気学的手法による地球内部構造研究は、固体地球の実体解明を究極の目的とし、物理探査の手法に基づいて地球構成物質の電気伝導度（比抵抗）・磁化等の物性分布を推定する研究分野である。推定した物性分布の情報をもとに、他の地球科学分野の成果を交えながら、地球内部構造を規定するより基本的なパラメータの分布やテクトニクス・地震火山活動場などを議論することができるようになる。研究対象は、地殻・マントル・コアにまたがる様々なスケールの地球内部構造であるため、マルチスケールでの観測・モデル化を行うことが本質的に重要である。構造モデルの精緻化を進めるとともに、構造の変化や地殻活動に伴う現象のモニタリングを視野に入れた研究へと発展させるべきである。特に以下のような研究課題を推進することが重要である。

(i) 地震・火山活動に関する研究は、その実態把握が自然災害軽減に資するという面において社会的な要請も強い。特に発生場としての起震断層の固着域やマグマ溜りの構造把握は、現象の物理や活動の推移を予測するための基礎情報として必要不可欠である。

(ii) 国際共同研究として実施されることが多いマントルの電気伝導度構造研究では、地磁気観測所における磁場観測や海底ケーブルによる電位差観測などの定常的長期間の観測データを用いて、より大規模なマントル遷移層・下部マントル構造研究が進展しつつある。独立かつ相補的な情報を得るために、他分野との共同研究も増加しており、より高密度な観測によって地震波速度構造との原理的な分解能の差を埋める努力が必要である。技術的な進展として、通常海底電位磁力計（OBEM）に加え、潜水船を使って電位差ケーブルを数 km にわたって海底に展張する地球電場観測装置（EFOS）が開発された。今後は、OBEM と EFOS を組み合わせたアレイ観測の様々な海域での適用が期待される。

(iii) 電磁気観測により得られた地下構造解釈のためには、高温・高圧実験による岩石・鉱物の物性データの精査が必要である。地殻やマントル内において見出される低/高電気伝導度領域の定量的解釈のために、多様な温度条件における造岩鉱物の電気伝導度および種々

の鉱物の組み合わせによる電気伝導度データベースや固体-流体系での電気物性データベースの構築が急務である。

(iv) 地磁気地電流法 (MT 法) に代表される電磁探査では、ノイズレベルの低い電磁場参照観測点の存在が構造推定精度を大きく向上させる。国土地理院等が設置した MT 連続観測点が参照点として重大な役割を果たしているが、従前にも増して恒常的な電磁場参照観測点の需要の高まりが予想されることから、引き続き、良質な参照点の拡充を急ぐ必要がある。

(v) 地殻活動に伴って生じる様々な電磁場変動を系統的に検出することは、その発生要因を究明することによって、現象の発生に至る物理過程を明らかにすることにつながる。地震・噴火現象の発生機構への理解が深化するばかりでなく、その発生場における現状の応力状態や熱的状态などを把握できる可能性がある。

(vi) 応力変化に伴う岩石磁気の変化を検出するために、その地域に特化した高精度の標準磁場モデルを構築する必要があるが、観測データの疎な地域については、連続観測点の新設も必要である。また、地下構造の時間変化の検出は重要なテーマである。背景構造の空間分解能を飛躍的に向上させるとともに、リアルタイムの多点構造解析の実現を目指して、データ転送機能付きの低消費電力な観測機器を開発する必要がある。

(vii) 巨大海溝型地震にともなう津波災害を減じるためには、津波発生の即時検知・規模推定の手法確立を急ぐ必要がある。近年、津波モニタリングに海底・陸上での電磁場観測が有効であることが示されているが、即時性を高めるための技術開発 (海底観測のオンライン化や異常検出の高度化) や規模の推定精度の向上 (観測点網の拡充・最適配置) が課題として挙げられる。地震・地殻変動などを含めた総合観測網の一部として電磁場観測を組み込むことが現実的である。

(viii) 海底観測や陸上の観測困難域においては、無人探査機・無人飛行体の開発進展が目覚しく、今後の観測研究へのより一層の活用が望まれる。無人機の小型化・他項目観測を実現するために、3成分磁力計や方位計など観測機器の超小型化・高精度化や、電力源の高エネルギー化が今後

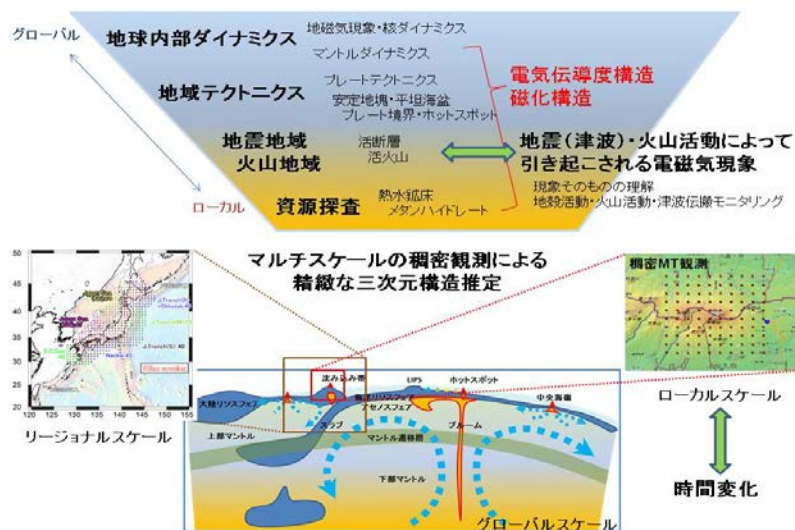


図 2.6 地球内部の状態を目指したマルチスケールモデリングと変動現象の理解のためのモニタリング研究

の課題として挙げられる。

2.7 岩石・堆積物が担う磁化の物理の解明とその応用

近代測器による磁場測定が及ばない長時間スケールでの地球磁場の変動を明らかにすることが、古地磁気学の基本的な課題である。古地磁気学は、岩石・堆積物などの地質試料中に含まれる強磁性鉱物が担う残留磁化の測定に全面的に依拠しているが、残留磁化が地球磁場の単なるプロキシ（代理指標）ではなく、理論と実験から再現性をもつ記録であることを保証することが課せられた使命である。地質試料から信頼ある古地磁気記録を読み取るためには、その基礎として岩石磁気学の理論的・実験的研究が重要であり、その発展と共に、様々な応用分野への広がりを見せている。岩石磁気学の理論的・実験的研究においては、近年、測定されたマクロな磁気的性質をミクロな磁区構造にリンクさせて理解する研究が進んだ。応用面では、古地磁気記録に正当性を付与するため、高度な岩石磁気測定が行われるようになった。とくに、古地磁気強度測定においては、一層高度な岩石磁気学の知見と方法が必要になってきている。さらなる発展のためには、ナノスケール分析・観察技術を活用するとともに、鉱物学や磁性物理学における最新の知見をフィードバックしていく必要がある。

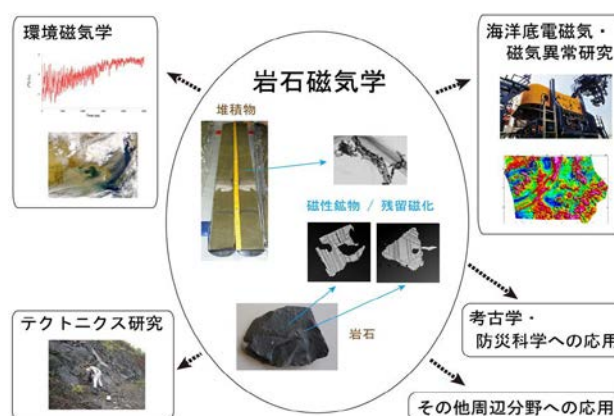


図 2.7 岩石磁気学とその周辺分野への広がり

堆積物の磁気測定によって得られる情報は、磁性粒子の供給源や運搬過程、続成作用、さらにそれらに關与する気候変動の研究にも有効である。堆積物の磁気特性を気候変動や環境汚染の問題等の環境システムの研究に利用する分野は環境磁気学と呼ばれ、古地磁気・岩石磁気学のなかで重要な位置を占めるようになってきている。今後、気候変動研究をさらに発展させるためには、統合国際深海掘削計画 (IODP) や国際陸上科学掘削計画 (ICDP) への積極的な關与が必要である。また、環境の長期モニタリング研究を推し進めるためには、中国・韓国・台湾などの研究者との連携が重要である。

地質学分野において、古地磁気学の手法を用いたテクトニクス研究が依然として注目されている。今後も岩石磁気・古地磁気学の手法 (古地磁気方位や磁化率異方性の解析) は、IODP における掘削船「ちきゅう」を用いた沈み込み境界掘削研究を含め、陸域・海域を問わずテクトニクス研究に大きく貢献すると考えられる。

海洋底電磁気・磁気異常研究に関しては、深海観測によって非常に高解像度のデータが得られるようになった。今後は、自律型無人潜水機 (AUV: Autonomous Underwater Vehicle)

活用し、より効率的に深海地磁気異常データの蓄積を進めることが望まれる。さらに、過去 2 億年の古地磁気強度変動の情報源となり得る海洋底の玄武岩の系統的な試料採取を可能とする技術開発が望まれる。深海掘削による岩石磁気と組み合わせた研究は、海洋性地殻の磁化構造についての知見を深めるだけではなく、月・惑星の磁気異常を担う地球外天体内部岩石の磁性鉱物の解明のためにも、重要度が高い。

考古学・防災科学への応用という観点では、たとえば、被熱遺構探査・地震発生過程・古地震といったキーワードを挙げることができる。分野間連携研究を推進しつつ新規課題をフィードバックさせ、岩石磁気学的なアプローチの適応範囲をより拡大させるべきである。

2.8 太陽地球系と地球内部を結ぶ科学課題

科学技術の発展にともなって、当学会の太陽地球系と地球内部系にまたがる知見が求められる科学課題が増加している。将来的に推進すべき課題には以下のようなものがある。

磁気嵐などの地磁気急変現象に伴って地中に誘導される電流（GIC: Geomagnetically induced current）が送電線などの社会インフラに損傷を与える事象は、地磁気緯度が低い日本ではあまり研究されていない。しかし、最近の太陽研究から、1000年に1度程度の発生頻度ながら、太陽の超巨大フレアが引き起こす超巨大な地磁気急変現象の可能性が示された。太陽・磁気圏・電離圏・地球内部構造の研究者が連携して、超巨大地磁気急変現象の際に日本で誘起されるGICの推定を行うべきである。その過程で地殻・マントルの3次元電気伝導度分布が整備され、誘導電磁場の精密な計算ができるようになれば、地上・低軌道衛星の磁場観測の内外分離や大気電気グローバルサーキットの精密化につながる可能性もある。

低軌道地球周回衛星による磁場観測は、磁気圏・電離圏の電流系やプラズマ構造を直接観測できると同時に、地上磁場観測網の主磁場の時間変化情報

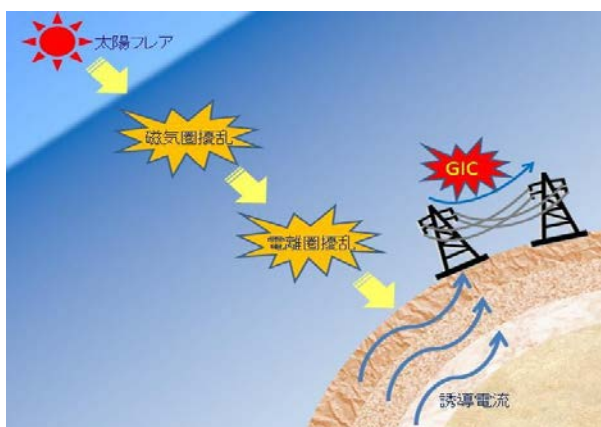


図 2.8.1 地磁気急変現象による
地中誘導電流 (GIC)

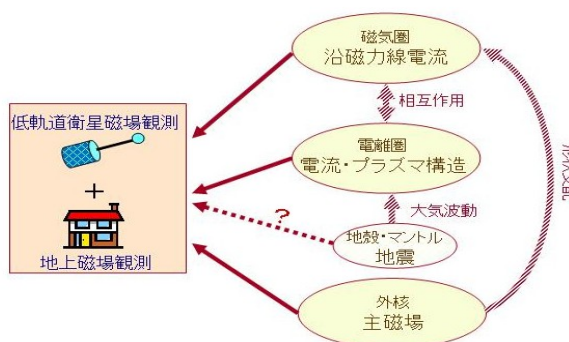


図 2.8.2 地上と衛星による地磁気観測が扱う
科学課題

に詳細な空間分布情報を付け加える唯一の手段である。衛星磁場を取り入れた高精度な主磁場モデルは沿磁力線電流の推定の高精度化につながり、電離圏の多項目観測は地震起源の変化の理解にも役立つなど、多分野の協力により一層の効果が期待できる分野でもある。長周期変化が主体の主磁場は観測の継続性が特に必要な課題であり、低軌道地球周回衛星による継続的な磁場観測が求められており、当学会も積極的に貢献すべきである。高精度な地上磁場観測も同時に行うことで、主磁場だけでなく、電流系の 3 次元構造や鉛直方向の効果の分離も可能になる。また、地上磁場観測からは、断層破壊によるピエゾ磁気変化や地震波伝播時変化の早期検出、津波による大気・電離層の音波・重力波動の伝播の理解など防災応用への可能性もあり、地球内部から太陽地球系までの包括的な理解が進むと期待される。

3 人類活動を支える知識基盤の構築

我が学会は、太陽地球環境、超高層領域、固体地球系に生起する様々な現象について研究をおこなってきた。その活動は地球・宇宙電磁気学の萌芽に始まり宇宙理学の開拓、それを推進するための宇宙工学の発展にも大きく貢献している。例えば、科学衛星による宇宙環境観測の推進、宇宙機と宇宙プラズマの相互作用の精査、宇宙推進システムの開発などは、本学会の研究活動と密接に結びついている。

一方、我が国はこれまで、地震・津波や火山噴火による多大な災害を経験してきた。日本列島はプレートの沈み込み帯縁辺部というテクトニックに非常に活発な領域に位置するため、地震・津波や火山噴火による社会基盤への影響と向かい合う必要がある。そして、いまや人類の社会基盤の一部となった、成層圏を網の目様に飛行する航空機群、科学探査、環境モニタリング、資源調査、通信、測位といったあらゆる用途の人工衛星、及びそれらを結びつけるネットワークインフラストラクチャーは様々なレベルでの宇宙災害を被る可能性があり、人類の活動領域が宇宙空間へと拡大する中、宇宙飛行士の人体被曝リスク低減も避けて通れない大きな問題となっている。このような人類及び社会基盤の発展、及びそれに対する災害のリスクを最小限にとどめるために、我々はこれまで蓄積してきた科学成果を人類活動を支える知識基盤として再構築し、社会に還元する必要がある。今後進めるべき科学的施策も太陽地球惑星圏システムに発露する現象の発見と理解だけでなく、そのモニタリング・予測へと踏み込むことを躊躇すべきではない。

宇宙理工学の発展や宇宙地球電磁気現象のモニタリング・予測成果を知識基盤として整え、宇宙理工学の発展、自然災害・宇宙災害のリスク軽減等を通じて社会に還元することが、太陽地球惑星圏科学への信頼、ひいてはその発展へと繋がって行くであろう。

本報告書詳細版第3章では、人類活動を支える知識基盤の構築という観点から、宇宙地球電磁気学、宇宙天気・気候科学、宇宙工学の進展に関する現状と将来への提言についての議論を行っている。具体的な内容についてはそちらを参照されたい。

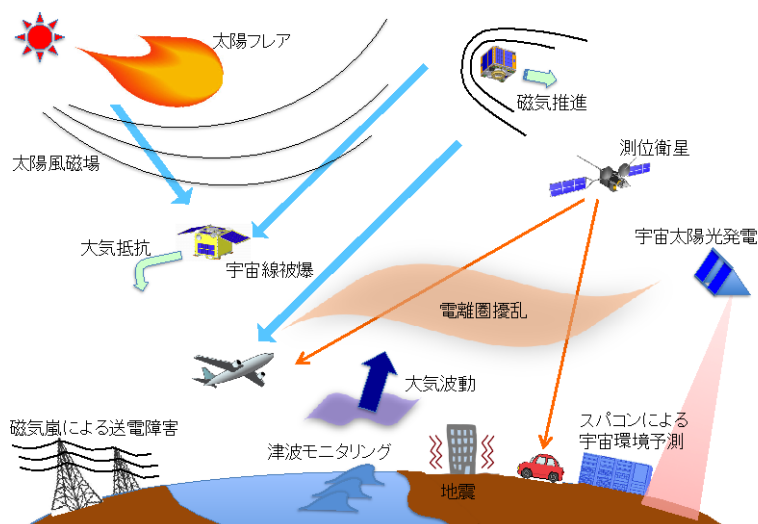


図 3.1 太陽地球圏と人間活動とのかかわり

4 研究推進に必要な技術開発・環境整備

4.1 観測技術開発

地球電磁気学・地球惑星圏科学分野には 2 章で述べたような幅広い研究対象があるが、その未知の部分に対して様々な手法を駆使して観測データを取得する事が、研究の基盤となる。観測手法の改良や新たな観測機器の開発が、新しい研究の展開をもたらす。本節では、2 章で述べた科学課題を追及するために必要な、観測機器の開発例を挙げる。4.1.1 節では太陽地球系科学分野について、4.1.2 節では固体地球研究分野について、それぞれまとめる。

4.1.1 太陽地球系科学分野の機器開発

太陽地球系科学分野では、人工衛星、観測ロケット、観測気球といった飛翔体を用いる観測と、地上に機器を設置する観測を相補的に駆使して、現象の発見・解明を図る。具体的な課題として、次のようなものが挙げられる。

カテゴリー	機器開発項目	対応するサイエンスゴール (2章の各節との対応)
飛翔体搭載機器および新プラットフォームの開発		
プラズマ/ 高エネルギー 一荷電粒子/ 中性粒子	熱的電子の温度およびエネルギー分布の高時間分解能観測	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	超熱的エネルギー帯におけるイオン 3次元速度分布計測	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	超低エネルギー粒子計測のための衛星電位制御	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	超高層大気における中性粒子計測	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	高時間分解能プラズマ計測	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	惑星圏での低エネルギーイオン同位体計測	2.3
	非熱的中性粒子観測	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	高感度高エネルギー荷電粒子計測のための検出器・読み出し回路開発	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
電磁場	飛翔体搭載電界アンテナの開発	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	小型プラズマ波動観測器の展望	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	飛翔体搭載直流/低周波磁力計の開発	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	飛翔体搭載交流磁界センサの開発	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
	高い電磁感受耐性を備えたソフト	2.1, 2.2, 2.3, 2.4

	ウェア波動観測器	
光学・X線	惑星大気・プラズマ観測用軟X線観測機器の開発	2.3
	近接離角にある高強度光源からの迷光除去技術の開発	2.3
	紫外線領域での面分光観測の光学技術の開発	2.3
	紫外分光計/撮像の性能向上	2.3
	飛翔体による可視高分散分光観測装置と高安定型検出器の開発	2.3
	小型サブミリ波放射計の開発	2.3
飛翔体プラットフォーム	気球を利用した惑星光学観測	2.3
	編隊飛行の衛星間通信を活用した観測動作制御法	2.1, 2.2, 2.3, 2.4
地上観測機器の開発		
大気圏・電離圏リモートセンシング	衛星電波を用いた全電子数観測と電離圏電子密度のトモグラフィ手法の開発	2.1, 2.2, 2.4
	非干渉散乱 (IS) レーダーによる電離圏物理量の立体観測手法の開発	2.1, 2.2, 2.4
	SuperDARN による電場構造イメージング	2.1, 2.2, 2.4
	ライダーの新規技術開発	2.1, 2.2, 2.4
光学・電波	夜間大気光の多点イメージング分光観測のための技術開発	2.1, 2.2, 2.4
	地上オーロラ光学観測のための技術開発	2.1, 2.2, 2.4
	赤外線地上観測装置の開発	2.3
	低周波電波天文観測のための大型アレイシステムの開発	2.1, 2.3
地上電磁場	自然 VLF 波動の地上観測	2.1, 2.2
	VLF/LF 帯標準電波・tweek 空電の観測	2.1, 2.2
	地上磁力計システムの新展開	2.1, 2.2

4.1.2 固体地球研究分野の観測・分析機器開発

固体地球研究分野では、地表面近傍において電磁場を計測することで、現象の発見・解明を図る。以下に、固体地球研究分野の具体的な観測器開発項目を示す。

カテゴリー	機器開発項目	対応するサイエンスゴール (2章の項目と対応)
電磁場観測	高分解能・高感度磁力計の開発	2.5, 2.7
	船上3成分磁力計の小型化・高度化	2.7
	リアルタイム津波モニタリングシステムの開発	2.6
	惑星／衛星電磁探査用電極の開発	2.3, 2.5
	小型・低消費電力・高精度な電磁場センサ、ロガーの開発	2.5, 2.6

4.2 計算機シミュレーション・モデリング

太陽地球惑星系科学において計算機シミュレーション・モデリングが果たす役割は大きい。太陽地球惑星系は様々な時空間スケールの現象が混在した複合系であり、また宇宙機によるその場観測が可能であることにより観測データによる現象論科学的な側面を持っている。太陽地球惑星系の様々な現象において、その現象の本質を表す方程式系を適切に現象に固有の外部条件や内部条件を適切に選択することは重要である。太陽地球惑星系のプラズマ現象は、(無)衝突ボルツマン方程式を基礎として、流体・粒子などの異なる時空間スケールの物理現象に対して様々な近似レベルで記述されている。無衝突プラズマの第一原理計算手法としては、電磁粒子法やブラソフ法などの運動論的手法が挙げられる。一方で、巨視的現象は流体的手法が適用される。またその中間的なスケールを取り扱う手法として、イオンを運動論的に、電子を流体的に扱うハイブリッド法も挙げられる。しかし、様々な現象に対して、外部条件や内部条件は前述の方程式系だけでは表せない別の物理過程を含む場合があり、これらはモデルとして与えられる。また観測データの再現においては、前述の方程式系を用いた計算機シミュレーションを行うことが必ずしも最適ではなく、しばしば方程式を簡略化したモデル計算が行われている。

太陽地球惑星系科学における計算機シミュレーション・モデリング技術は日々開発が続けられている。また近年のスカラ型超並列計算機アーキテクチャに適したコードの最適化や、消費電力の少ない演算加速装置 (GPGPU 等) や演算補助装置 (MIC 等) を搭載する機器に向けたコード整備も検討されている。またプラズマ物理学、天文学、核融合科学、計算科学、流体力学・航空宇宙、気象・大気科学などの諸分野とは、計算技法を軸とした分野間交流が推進されている。

太陽地球惑星系科学における計算機シミュレーション・モデリングは潜在的に非常に多

くの計算リソースを必要としている。安定な計算リソースの確保において、当学会に関連する宇宙科学研究所、国立極地研究所、京都大学生存圏研究所、名古屋大学太陽地球環境研究所などの全国共同利用・共同研究拠点の設備は非常に重要な役割を果たしている。一方で、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(JHPCN)や革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ(HPCI)により、大型計算機利用研究が推進されており、当学会の関連研究課題が採択されている。このように、当学会は戦略分野には選ばれてはいないものの、視認性は徐々に高まりつつあると言える。しかしながら、計算リソースの確保は重要な問題である。最近では HPCI に計算資源が集中する傾向にあり、学会として既存の全国共同利用・共同研究拠点設備の計算リソースの維持に努める必要がある。今後さらに大規模計算を行っていく上では、HPCI をはじめとする HPC 関連大型プロジェクトへの応募は不可欠となるため、計算リソースの必要性を学会から発信していくことも必要である。

また日々要求される「成果としてのサイエンス」の高度化により、研究者がプログラム開発に費やせる時間が少なくなっている。計算手法や並列化手法の複雑さも増して、シミュレーション・モデリングコードの中身を知らずに道具としてのみ利用する、ユーザーとしての立場の研究者が増えてきており、プログラム開発が行える若手研究者の育成は急務となっている。これには、説明文とプログラムの対応関係がよく分かるような教科書・ドキュメントについて、基礎解法のみならず最新の手法についても整備すること、初心者向けのシミュレーションスクールや、上級者向けのコード開発ワークショップなどを開催すること等が必要であるが、これらには学会のサポートが不可欠である。

4.3 データシステム

科学研究を行う上で必要なデータベース、アーカイブや情報ネットワーク、計算機、またデータの形式や扱い方などを考える情報科学や技術、さらに、それらを運用する組織を合わせて、1つのシステムと捉えることができ、本節ではこれをデータシステムと呼ぶ。地球電磁気・地球惑星圏科学分野では、これまで飛行体、レーダー、スーパーコンピュータなどの最新技術を利用して科学的ブレークスルーを生み出してきたが、それに加え最新の情報通信技術を取り入れた新しいデータシステムの構築も、当分野における新たな飛躍をもたらすと考えられる。

当分野の観測活動は、他の実験的研究とは異なり、人類が制御できない、時々刻々と変動する地球環境を記録していくものであるがゆえに、全く同じ条件で生ずる現象の観測データは二度と取得することができない。このため、得られた観測データを余すところなく保存して失われないようにしておくことが重要であり、かつ数百年スケールの長期変動研究にも耐えられるように、長期に渡り蓄積・保全することが不可欠である。つまりデータシステムはこのような要求を十分満たすものでなくてはならない。

しかしながら、衛星データについてのデータベース整備は比較的充実しているのに対して、地上観測データのデータベース整備は、データの種類やデータ生産機関によっては十

分に行われていないのが実情である。これは、当分野のほとんどの地上観測が小規模の研究グループによって担われており、その限られたリソースの中では、外部研究者向けのデータベースやデータに関連するサービスの整備まで手が回り切らない場合が多いからである。このような現状の中、当分野を含む国内の幾つかの科学コミュニティでは、現存する様々な規模のデータベースやそれに伴う人的リソースの連携を促進し、それらが全体として、より大きなデータベース・データセンター機能を発揮できるようにするための研究開発が試みられている。

以上のような現状を踏まえ、当分野における将来の科学データシステム、データベースのあり方に関する提言は、以下のようにまとめられる。

- 定常的・連続的観測で得られるデータについて品質管理をすること、および既存データの維持・保全を図ることが、研究活動の推進のために不可欠である。そのためには現状多く見られるような、分業体制の未確立に起因する、特定の研究者へのデータ管理業務の集中は解消されなければならない。
- バーチャルな一体組織として機能するように、各機関のデータ専門スタッフの連携を図り、各機関に分散しているデータベースをネットワークで結合し運用することで、それらが、いわば「連携データセンター」として機能できるようにしていくことは、今後、我々のデータシステムを発展させるための1つの現実的なステップと言える。
- 分散するデータベースを結びつけたバーチャルなデータセンターを通してデータを流通しあうだけでなく、データサービスの一環として共通データ解析ツールの開発・供給を行うことで、分散データセンターと研究者の研究活動を直接的に結びつける手段を提供することも、データセンターの役割としてコミュニティから求められている。
- 分散データセンターを構成する各機関にデータ専門スタッフを配置してデータ維持・管理体制を強化することが急務である。また、それぞれの機関の独自観測データについては、メタデータやデータファイルのデータベース化と、関係組織との相互交換体制をつくることを条件づけて、そのための予算・人員を手当するなどの方策を通じて、オープンなデータ流通機構の普及を推進していくことが必要不可欠である。
- データ公開体制を学術研究の制度として根付かせるために「データ・パブリケーション (data publication)」およびその一環として、データを論文のように参照してサイテーションインデックスのように被引用頻度を通じた業績評価を行う「データ・サイテーション (data citation)」などの整備が国際協力の下に進められている。このような国際的潮流に対して、地球電磁気学・地球惑星圏科学分野としても積極的に参加していくべきである。

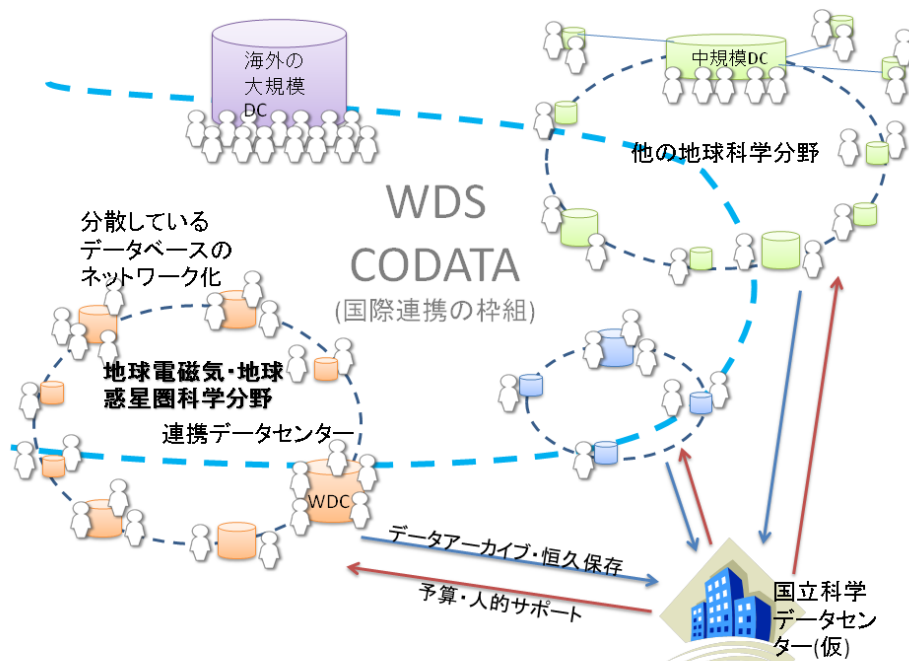


図4.3.1 連携データセンターと国立科学データセンターによる科学データサポート体制

4.4 情報数理技術

我々の学問分野に関わる様々なデータは、観測技術の向上と観測点の多点化、計算機シミュレーションの高精細化など、今後、飛躍的な増大が予想される。これらの巨大データを有効に利用するには、高度な知的情報処理手法やコンピュータ活用術の導入が必要とされる。また、観測とシミュレーションの緊密な連携は、複雑な物理現象をより現実的な形で再現することを可能とし、その理論解釈や将来予測への活用が期待される。このように、近年急速に発展してきた情報学的な知見を積極的に取り込んで応用することは、今後の地球電磁気・地球惑星圏科学の発展に必須である。

4.4.1 データマイニング技術

我々の学問分野は、観測した事象をいかに理論的に説明するかが、最も基本的な研究アプローチであるが、多くの場合、その観測対象は、極めて多数のパラメータに依存し、観測量の因果関係も複雑である。加えて、観測データの爆発的な増加と、その理論解釈を助ける計算機シミュレーションの大規模化は、その全貌を直感的に把握できるキャパシティを越えつつある。このような情報爆発問題に対し、巨大データ群から計算機の力で知識を発見するデータマイニング技術が発展し、様々な学問分野で活用されつつある。我々の学問分野におけるデータマイニング技術の活用はまだ端緒にすぎないが、4.3節で述べたデータシステムの整備によって巨大データ群の利活用環境が進むにつれ、このような情報数理学的技術の活用が、SGEPSSの学問の発展に大いに寄与すると期待される。

4.4.2 データ同化技術

近年、観測データとシミュレーションを融合させたデータ同化という技術が、地球電磁気・地球惑星圏科学においても用いられるようになってきている。気象や海洋といった他の地球科学分野に比べて、地球電磁気・地球惑星圏科学におけるデータ同化の適用例は、まだそれほど多くはない。電離圏、プラズマ圏、リングカレント、放射線帯といった領域についてのデータ同化研究が、米国、日本、欧州で進められており、モデルの改善や、現況、そして予測の高精度化に活用されつつある。一方、気象科学等の分野では、データ同化が天気予報にも活用されており、気象庁のような現業機関でも運用されている。地球電磁気・地球惑星圏科学においても、宇宙天気の実運用を行っている機関において、データ同化技術の積極的な導入と運用をはかっていくことが重要になると考えられる。

5 研究推進のために必要な施策・組織

5.1 研究推進のために必要な施策

この章では、2-4 章で述べた各研究課題について、その推進に必要な施策を挙げる。これらの施策は、2012 年に全学会員にアンケート調査を行うことにより得られたものである。施策は、衛星計画、地上施設整備・観測計画（予算規模によって大型、中型、小型に分類）、技術開発、センター整備に分かれている。この要約版では、全ての施策を表として以下にまとめる。この表には、対応する科学課題として、2, 3 章の章番号を示した。これらの施策の構想には、既に実施中のものから、構想段階のものまで、さまざまな段階の提案があるので、構想の成熟度を参照のためにつけた。各施策の詳細は本編に記述している。

通し番号	タイトル	title	予算規模	カテゴリ	関連する科学課題の章番号	構想の成熟度(注1)	補足	連絡担当者所属	連絡担当者	連絡担当者メールアドレス
	衛星計画									
1	BepiColomboプロジェクト(日欧共同国際水星探査計画)	BepiColombo Project	100億円以上	衛星計画	2.1, 2.3	A		宇宙航空研究開発機構	早川 基	hayakawa_at_isas.jaxa.jp
2	JUICE計画への観測機器搭載	Payload development for the JUICE mission	10億円以上	衛星計画	2.3	B		宇宙航空研究開発機構	藤本 正樹	fujimoto_at_stp.isas.jaxa.jp
3	火星大気散逸探査計画(のぞみ後継機)	Mars atmospheric escape exploration (heir of Nozomi)	100億円以上	衛星計画	2.3	C		宇宙航空研究開発機構	松岡 彩子	matsuoka_at_isas.jaxa.jp
4	火星気象オービター	Mars meteorological orbiter mission	100億円以上	衛星計画	2.3	C		宇宙航空研究開発機構	今村 剛	imamura.takeshi_at_jaxa.jp
5	非磁化地球型惑星での超高層大気探査と関連する観測機器開発	Exploration for the upper atmospheres of unmagnetized terrestrial planets and associated instrumental development	数千万円-数百億円	衛星計画	2.1, 2.2, 2.3	D	探査機計画としては、SGEPSSが主体となり検討・推進すべき将来課題である一方、機器の基礎的研究・開発には既に少額の予算配分を受け、着手している。	名古屋大学太陽地球環境研究所	平原 聖文	hirahara_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
6	SCOPE計画	The SCOPE Mission	100億円以上	衛星計画	2.1, 2.4	C		宇宙航空研究開発機構	藤本 正樹	fujimoto_at_stp.isas.jaxa.jp
7	EXCEED/Sprint-A計画	EXCEED/Sprint-A mission	10億円以上	衛星計画	2.3	A		東京大学	吉川 一朗	yoshikawa_at_eps.s.u-tokyo.ac.jp
8	ジオスペース探査衛星(ERG)計画	Geospace Exploration: ERG Project	数十億円	衛星計画	2.1, 2.4, 3	A		宇宙航空研究開発機構 名古屋大学太陽地球環境研究所	高島 健 三好 由純	ttakeshi_at_stp.isas.jaxa.jp miyoshi_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
9	日本-ノルウェー共同観測ロケット10年計画	JAPAN-NORWAY Sounding Rocket Experiment Decadal Plan	24.35億円	ロケット計画	2.1, 2.2	A-D	ICI-4:Aに近いB 1号機 SS520: Bに近いC 2号機 SS20: Cに近いD それ以降: D	宇宙航空研究開発機構	齋藤 義文	saito_at_stp.isas.jaxa.jp
10	小型衛星群による大気圏-電離圏観測	Small Satellite Constellation for Atmosphere-Ionosphere Research	約80億円	衛星計画	2.2, 3	C		宇宙航空研究開発機構	児玉 哲哉	kodama.tetsuya_at_jaxa.jp
11	衛星・惑星内部構造推定を目的とした電磁探査	EM survey of moon and planets	1億円以上	衛星計画	2.5	D		東京大学地震研	清水 久芳	shimizu_at_eri.u-tokyo.ac.jp
12	地球磁場観測衛星	Geomagnetic field observation satellite	1億円以上	衛星計画	2.1, 2.5, 2.8	D		東京大学地震研	清水 久芳	shimizu_at_eri.u-tokyo.ac.jp
	大型衛星地上施設整備・観測計画									
13	「ちきゅう」による統合国際深海掘削計画(IODP)	International Ocean Discovery Program (IODP) by D/V Chikyu	100億円以上	観測計画	2.5, 2.7	A		独立行政法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)	木戸 ゆかり	ykido_at_jamstec.go.jp
14	太陽地球系結合過程の研究基盤形成	Study of coupling processes in the solar-terrestrial system	80億円	衛星計画 施設整備	2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.8, 3	B		京都市大学生存圏研究所	山本 衛	yamamoto_at_rish.kyoto-u.ac.jp
	中型地上施設整備・観測計画									
15	赤道MULレーダー	Equatorial MU Radar	31.5億円	施設整備	2.2	B		京都市大学生存圏研究所	山本 衛	yamamoto_at_rish.kyoto-u.ac.jp
16	大型レーダーを用いた南北両極の大気科学の推進:PANSYレーダー及びEISCAT_3Dレーダー計画	PANSY and EISCAT_3D	数十億円	施設整備	2.1, 2.2	B	PANSYレーダーはA	東京大学大学院理学系研究科 国立極地研究所 名古屋大学太陽地球環境研究所	佐藤 薫 宮岡 宏 堤 雅基 野澤 悟徳	kaoru_at_eps.s.u-tokyo.ac.jp miyaoka_at_nipr.ac.jp tutumi_at_nipr.ac.jp nozawa_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
17	アウターライズ海底観測フロントによるプレート境界域の地震・津波・プレート運動のリアルタイムモニタリング	Outer Trench-slope Seafloor Observatory Chain for Real-time Monitoring of Plate Loading and Tsunami Generation	設置に関しては5年間で約15億年	施設(観測網)整備	2.6	B		独立行政法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)	浜野 洋三	hamano_at_jamstec.go.jp
18	日本列島周辺での大規模アレイ状電磁観測計画	Project "JEMINI": Japan Electro-Magnetic Imaging with Network observation In-depth	10億円以上	観測計画	2.6	C		京都大学	後藤 忠徳	goto.tadanori.8a_at_kyoto-u.ac.jp
	小型地上施設整備・観測計画									
19	2m低散乱光学望遠鏡による惑星大気観測計画 - 飛翔体との連携観測と系外惑星の大気成分検出に向けて	Plan of planetary atmosphere measurements with a 2m low-diffraction optical telescope - toward cooperation with spacecraft and detection of exoplanetary atmosphere	~5億円	施設整備	2.3	B		東北大学	坂野井 健	tsakanoi_at_pparc.gp.tohoku.ac.jp

20	惑星大気の高精密観測のための赤外高分散分光技術開発－惑星大気物理過程の多元的理解に向けて	Development of infrared high-resolution spectroscopy for precise measurement of planetary atmosphere – toward understanding the multifactor in planetary atmosphere processes	～2億円	施設整備	2.3	B		東北大学	坂野井 健	tsakanoi_at_pparc.gp.tohoku.ac.jp
21	HF～VHF帯大型アレイ・アンテナ計画	Development plan of a large antenna array in the HF to VHF range	～1億円	施設整備	2.1, 2.3	C		東北大学	三澤 浩昭	misawa_at_pparc.gp.tohoku.ac.jp
22	UHF帯高感度・広帯域偏波スペクトル計開発	High sensitive Spectro-Polarimeter in the UHF range	1億円以上	施設整備	2.1, 2.3	C		東北大学	土屋 史紀	tsuchiya_at_pparc.gp.tohoku.ac.jp
23	火山活動モニタリングのためのリアルタイム構造解析へ向けて	Toward real-time resistivity modeling for monitoring volcano	1億円以上	観測計画	2.6, 3	D		東京工業大学	神田 径	kanda_at_ksvo.titech.ac.jp
24	赤道・低緯度SuperDARNレーダー装置	Equatorial and low latitude SuperDARN radar	1.2億円以上	施設整備	2.2	D		名古屋大学太陽地球環境研究所	西谷 望	nisitani_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
25	SuperDARN北海道第二レーダー計画	SuperDARN Hokkaido West radar	1.2億円	施設整備	2.1, 2.2	B		名古屋大学太陽地球環境研究所	西谷 望	nisitani_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
26	低周波電波天文観測による太陽圏の3次元探査	3-dimensional exploration of heliosphere using low-frequency radio astronomical observations	数億円	施設(観測網)整備	2.1	C、部分的にB		名古屋大学太陽地球環境研究所	徳丸 宗利	tokumaru_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
27	ライダーおよびレーダーによる極域大気上下結合の研究	Research on atmospheric vertical coupling based on Multi-LIDAR and radar observations	1億円以上	施設整備	2.2	C		名古屋大学太陽地球環境研究所	野澤 悟徳	nozawa_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
28	内部磁気圏のプラズマ・電磁場変動の総合地上ネットワーク観測	Comprehensive ground-based network observations of plasma dynamics and electromagnetic disturbances in the inner magnetosphere	5億点程度	施設(観測網)整備	2.1, 2.2	B	一部は整備済み、一部は予算要求中	名古屋大学太陽地球環境研究所	塩川 和夫	shikawa_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
29	大気・プラズマ結合過程の総合地上ネットワーク観測	Comprehensive ground-based network observations of coupling between the atmosphere and the ionosphere	5億点程度	施設(観測網)整備	2.1, 2.2	B	一部整備済み、一部は予算要求中	名古屋大学太陽地球環境研究所	塩川 和夫	shikawa_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
30	MAGDAS/210° MM子午線磁力計のベア化とそれによる磁気圏密度L依存性の推定	Dualization of MAGDAS/210MM to estimate the L-dependence of the magnetospheric density	～1億円	施設(観測網)整備	2.1	D		九州大学宇宙天気科学・教育センター	河野 英昭	hkawano_at_geo.kyushu-u.ac.jp
31	衛星地上融合観測に基づく磁気嵐時の放射線増加と大気膨張の予測研究	Prediction study of the radiation-belt enhancement and atmospheric expansion during magnetic storms by using a unified satellite-ground observation system	1億円以上	施設(観測網)整備	2.1, 2.2, 3	B		九州大学宇宙天気科学・教育センター	河野 英昭	hkawano_at_geo.kyushu-u.ac.jp
32	極域・磁気赤道域を連結する全球Cowlingチャンネルの実証的研究	Survey of electromagnetic coupling from auroral to equatorial ionosphere – Integrated study of theoretical and Empirical approach	1億円以上	施設(観測網)整備	2.1	B		九州大学宇宙天気科学・教育センター	吉川 顕正	yoshi_at_geo.kyushu-u.ac.jp
技術開発										
33	地磁気絶対観測自動化の技術開発	A technological innovation of magnetic theodolite for automatic absolute measurements	1億円以上	技術開発	2.5	C		気象庁地磁気観測所	源 泰拓	minamoto_at_met.kishou.go.jp
34	天然試料に特化した試料調製技術の開発	Development of procurement techniques for natural samples	～1億円	技術開発	2.5	D	構想段階のため暫定額	海洋研究開発機構	臼井 洋一	yoichi_at_jamstec.go.jp
35	海洋底玄武岩の系統的試料採取技術の開発	Development for techniques in systematic sample collections of submarine basalts	～1億円	技術開発	2.7	D	構想段階のため暫定額	神戸大学	島 伸和	seama_at_kobe-u.ac.jp
36	海底堆積物の長尺不攪乱試料採掘器の開発	Development of long piston corer for sediment paleomagnetic study	～1億円	技術開発	2.5, 2.7	D	構想段階のため暫定額	海洋研究開発機構	金松 敏也	toshiyak_at_jamstec.go.jp
37	掘削コア試料の古地磁気測定に関わる技術開発・環境整備	Technical developments and general improvements for paleomagnetic measurements on drilling core samples	～1億円	技術開発・環境整備	2.5, 2.7	D	構想段階のため暫定額	高知大学	山本 裕二	y.yamamoto_at_kochi-u.ac.jp
38	金属コア対流の再現実験の技術開発と大規模数値シミュレーションのための環境整備	Technical developments for metallic core convection experiments and general improvements for large-scale numerical simulation	～1億円	技術開発・環境整備	2.5	D	構想段階のため暫定額	東京大学	櫻庭 中	sakuraba_at_eps.s.u-tokyo.ac.jp
センター整備										
39	CPS(惑星科学研究センター)の定常化に向けて	Toward the establishment of CPS (Center for Planetary Science)	2億円/年	センター整備	2.3	AないLB	G-COEプログラムによって現在実施中。また、概算要求、JSPS 拠点研究申請などを現在行っている。	神戸大学惑星科学研究センター	中川 義次	yoshi_at_kobe-u.ac.jp

40	宇宙環境研究のためのサイエンスセンター計画	Space Environment Science Center	1億円程度	センター整備	2.1, 2.2, 2.3, 2.4	A,B,C	一部はすでに予算化されて実施中であるとともに、今後の拡充に向けての計画を具体化しつつある。	名古屋大学太陽地球環境研究所	草野 完也 関 華奈子 三好 由純	kusano_at_stelab.nagoya-u.ac.jp seki_at_stelab.nagoya-u.ac.jp miyoshi_at_stelab.nagoya-u.ac.jp
41	宇宙生存学研究教育拠点	Research hub for human survivability in space	1億円以上	拠点整備	2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 3	C		京都大学・宇宙総合学研究ユニット	磯部 洋明 柴田 一成	isobe_at_kwasan.kyoto-u.ac.jp shibata_at_wasan.kyoto-u.ac.jp
42	将来の惑星探査・観測を念頭に置いた惑星大気コミュニティモデルの開発とコアモデリンググループの確立に向けて	Toward development of community models for planetary atmosphere and establishment of core modeling group for purposes of future planetary exploration and observation	1億円/年	研究グループ確立	2.3	D		神戸大学惑星科学研究センター	高橋 芳幸	yot_at_gfd-dennou.org
43	グローバル地上観測連携データセンター構想	Virtual data centre for ground based global observations	2000万円/機関/年	センター整備	2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 4	C		京都大学	家森俊彦	iyemori_at_kugi.kyoto-u.ac.jp

注1) 構想の成熟度の定義は以下の通り

A: 既に予算がついて実施中の計画

B: 現在予算要求中である

C: 予算要求のために計画を具体化しつつある

D: 構想段階であり、現在のところ予算要求の予定はない

5.2 共同利用拠点を含めた大型研究機関の重要性

この章では、地球電磁気・地球惑星圏科学に関する研究を発展させるために基盤となる研究機関とその重要性を挙げる。これらの研究機関の記述は、2012年に全学会員にアンケート調査を行うことにより得られたものである。これらの機関は、独立行政法人などの大型の研究機関、大学附置研究所、主に大学の学部や研究科に附属したセンターに分類される。この要約版では、全ての研究機関を表として以下にまとめた。各機関の詳細は本編に記述した。

通し番号	機関名	英語名	連絡先	URL
	大型研究機関			
1	気象庁地磁気観測所	Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency	〒315-0116 茨城県石岡市柿岡595 Tel: 0299-43-1876 Fax: 0299-43-6904	http://www.kakioka-jma.go.jp/
2	産業技術総合研究所	National Institute of Advanced Industrial Science and	茨城県つくば市東1-1-1 産業技術総合研究所 つくばセンター 電話:029-861-2130	http://www.aist.go.jp/
3	国立極地研究所	National Institute of Polar Research	〒190-8518 東京都立川市緑町10-3 Tel: 042-512-0602、Fax: 042-528-3164	http://www.nipr.ac.jp/
4	情報通信研究機構	National Institute of Information and Communications Technology	〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 Tel:042-327-7429(代)	http://www.nict.go.jp/
5	宇宙科学研究所／宇宙航空研究開発 機構	Institute of Space and Astronautical Science /Japan Aerospace Exploration Agency	〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 Tel: 042-751-3911, Fax: 042-759-4251	http://www.isas.jaxa.jp/
	大学附置研究所			
6	東京大学大気海洋研究所	Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo	〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5 電話:04-7136-6130, Fax: 04-7136-6148	http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/
7	東京大学地震研究所	Earthquake Research Institute, University of Tokyo	113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1 電話番号:03-5841-2498	http://www.eri.u-tokyo.ac.jp
8	名古屋大学太陽地球環境研究所	Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University	〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 Tel: 052-747-6306, Fax: 052-747-6313	http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/
9	京都大学防災研究所	Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University	〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 Tel: 0774-38-3348 Fax: 0774-38-4030	http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/
10	京大生存圏研究所	Research Institute for Sustainable Humanosphere,	〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 電話0774-38-3814、FAX 0774-31-8463	http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/
	大学関連センター			
11	北海道大学大学院理学研究院附属地 震火山研究観測センター	Institute of Seismology and Volcanology(ISV), Faculty of Science, Hokkaido University	〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目	http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/
12	東北大学大学院理学研究科附属 惑 星プラズマ・大気研究センター	Planetary Plasma and Atmospheric Research Center/ Tohoku University	〒980-8795 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3 TEL 022-795-3794 FAX 022-795-6406	http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/
13	東北大学大学院理学研究科附属 地 震・噴火予知研究観測センター	Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions / Tohoku University	〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6 TEL 022-225-1950 FAX 022-264-3292	http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

14	京都大学大学院理学研究科・附属地 磁気世界資料解析センター	Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Graduate School of Science, Kyoto University	〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 電話: 075-753-3949, FAX: 075-722-7884	http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/
15	惑星科学研究センター	CPS: Center for Planetary Science	〒650-0047神戸市中央区港島南町7丁目1-48 神戸大学統合研究拠点301 惑星科学研究センター Tel: 078-599-6731, Fax : 078-599-6735	http://www.cps-jp.org/
16	高知大学 海洋コア総合研究センター	Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University	〒783-8502 高知県南国市物部乙200 電話 (088)864-6712 , FAX (088)864-6713	http://www.kochi-u.ac.jp/marine-core/
17	九州大学国際宇宙天気科学・教育センター	International Center for Space Weather Science and Education, Kyushu University	九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎6丁目10番 1号	http://www.serc.kyushu-u.ac.jp/

6 学会と社会の関わり・研究者の働き方の多様性

6.1 はじめに

我々の研究活動の基盤は、そのほとんどが税金を原資とする公的な資金に依存しているのが現状である。そのため、我々の研究活動の継続には、国民に対する説明責任を果たすと共に、我々が獲得した知見を還元し、更に活用・発展させていくために国に対して提言を行うなどの活動が強く求められている。研究成果を広く社会に対して還元することは、人類の持続的繁栄および自然現象に対する理解を助ける。さらに、市民や国家が災害等に直面した時にとる対策にその知見が活用されることを期待している。

一方で、研究およびそれを支えるコミュニティの持続的発展のために、次世代研究者の育成と研究者のより良い人生（研究活動だけでなく、家庭や社会における個々人の生活も）を築くための環境整備をすることも学会に求められていることである。これに関する大きな問題は若手研究者のキャリアパスに関する問題（いわゆるポスドク問題）および女性研究者の環境向上である。

本章では、SGEPSS が取り組んできたアウトリーチ、学校教育、ポスドク問題、および、男女共同参画への取り組みについて紹介し、今後の活動の提言を行う。

6.2 パブリック・アウトリーチ活動

SGEPSS では 2004 年度より「アウトリーチ部会」を発足させ、アウトリーチ活動および学校教育への関与を組織的に行ってきた。ここでは、本部会が行ってきたアウトリーチ活動を列挙し、今後の方針と展開を記述する。

アウトリーチイベント：2004 年から秋学会と併せて一般向け（主な対象は小中学生とその保護者）のイベントを行っている。構成は、毎年異なる主テーマに関する講演会、動的・体験型の展示を伴った「はかせコーナー」、身近な電磁気に関する工作、である。

秋学会の記者発表：2004 年より秋学会開催時に、開催地の報道関係者を招き記者発表会をしている。学会の発表の中から選ばれた 3~5 件の論文について、著者本人からわかりやすく説明をしてもらう。

衛星設計コンテスト：高校・高専・大学・大学院の学生による小型衛星・宇宙ミッション設計のコンテスト。2003 年（第 11 回）から SGEPSS も主催団体の 1 つとしてコンテスト開催の企画・運営に携わっている。

教育機関、公共団体等への講師派遣：SGEPSS が学会として講師（会員）を派遣し、学校等の教育現場に直接貢献するプログラム。2003 年から 10 数件行っている。

若手アウトリーチ活動“STEPLE”：学会若手有志によるプログラム。出前・出張授業やイベントの開催をこれまでに 10 件程度行ってきた。彼ら自身が企画・運営から講師まですべて行う。

Webの充実：学会アウトリーチ活動の紹介ホームページ。

<http://www.sgepss.org/~outreach/>

6.3 学校教育に対する働きかけ

SGEPSSの各研究分野は地球内部から太陽系内までを広く対象とし主に電磁気現象を扱うものである。これらは、小学校～高等学校の教育現場ではあまり取り扱われていない。小中学校においては「身近な地学現象」を学習の対象としているが、我々の研究対象はそれには少し複雑であるためか、取扱いほぼ皆無である。一方、高等学校では理科の地学内にて一部取り扱われるが、極めて限定的な記述であり、かつ、その履修率が低いという問題がある。

SGEPSSではこのような状況を含めた教育現場に対応するため、アウトリーチ部会内の1組織として学校教育ワーキンググループを組織し2005~2010年度に活動を行った。その成果は主に高等学校教員を対象とした教科書・啓蒙書である「太陽地球系科学（京都大学学術出版会, 2010）にまとめられ、出版された。

将来にわたって、我々も個々の研究分野をより学校教育の現場で取り扱ってもらいたいと考えている。しかし、実際には学習指導要領や教科書、現場における扱いが小さい。そのため、(A)小中学校で取り扱う「身近な現象」として我々の研究対象を取り扱ってもらうための文章や副教材の提示、(B)高等学校理科（物理・化学・生物・科学と人間生活）の関連事象として扱ってもらうための文章等の作成、(C)高等学校「地学基礎」担当教員向けの副教材の開発、(D)次期学習指導要領改訂へ関与するルートの開拓、(E)大学生・大学院生が学校教育現場へ就職することを奨励・サポート、(F)地球惑星科学連合（JpGU）教育問題検討委員会との連携を密でより強固に、とくに学校教育ワーキンググループの再組織化、(G)学会内で学校教育、基礎教育に携わる会員の知・ノウハウ・意見の結集、といった方策を検討する必要があると考えている。

6.4 研究者の充実したライフスタイルの実現

研究者を巡る環境について、以下のような問題が存在している。

(1) 若手研究者

国策で増えたポストドクのキャリア見通しは非常に不透明で、SGEPSS内部にもいわゆるポストドク問題は広く深刻に存在する。文部科学省その他によって、ポストドクや雇用する研究機関に対する補助制度が複数作られたが、根本的な解決には程遠いのが現状である。

(2) 女性研究者支援

SGEPSS内外で女性研究者は若手世代を中心に確実に増加しているが、男性研究者と比べてポスト・生活・人生設計について不利な状態に置かれている。ポストドク問題同様、国や諸機関が対策を練っているが、問題の解決にはまだ遠い。

(3) 研究環境の充実とワークライフバランスの実現

研究者一般の問題として、研究・労働環境は悪化の一途をたどっている。日本の人口が減少しているということは大学間競争を激しくし、その結果、大学教員の教育・業務の比重は増大している。

SGEPSS では 2004 年から「男女共同参画提言ワーキンググループ」を発足させ、これらの問題に他の学会と連携しながら対処してきた。学会独自の取り組みとして、若手や女性研究者の事実を把握するための調査や秋学会における参加者向けの保育室の設置がある。他にも、JpGU「男女共同参画委員会」や男女共同参画学協会連絡会へ積極的に参加し役割を果たしてきた。

今後は、上記の問題を含めて研究者のキャリアパスやワークライフバランスについて、現実的で受け入れ可能な答え（必ずしも研究職の増加を期待しているわけではない）を探し、提示する、また、政府等に対し博士を活かす社会の形成を提言する、といった活動に向けて議論を進めてゆく。

資料

地球電磁気・地球惑星圏学会 将来構想検討ワーキンググループ委員（2012年度）

会長：家森俊彦

主査：塩川和夫、清水久芳、寺田直樹、吉村令慧

委員：梅田隆行、大塚雄一、小川泰信、笠原慧、笠原禎也、亀田真吾、神田径、櫻庭中、篠原育、高橋幸弘、長妻努、中村卓司、成行泰裕、畠山唯達、藤井郁子、藤本正樹、堀智昭、松清修一、三好由純、村田健史、村山泰啓、山本衛、山本裕二、吉川顕正

執筆協力者

相澤広記、浅村和史、阿部聡、阿部琢美、天野孝伸、家田章正、石川尚人、磯部洋明、市來雅啓、市原寛、今田晋亮、今村剛、臼井英之、臼井洋一、宇津木充、宇野康司、海老原祐輔、大山伸一郎、沖野郷子、荻野瀧樹、小田啓邦、尾花由紀、小原隆博、笠羽康正、笠谷貴史、片岡龍峰、加藤恒彦、加藤雄人、門倉昭、金松敏也、鴨川仁、河野英昭、川村紀子、北村成寿、木戸ゆかり、草野完也、古賀清一、小嶋浩嗣、児玉哲哉、後藤忠徳、小山崇夫、齋藤慎司、齋藤武士、斎藤享、齋藤実穂、齋藤義文、坂野井和代、坂野井健、佐川英夫、佐藤薫、佐藤雅彦、柴田一成、渋谷秀敏、島伸和、清水敏文、下山学、小路真史、陣英克、菅沼悠介、杉山徹、鈴木臣、関華奈子、銭谷誠司、高倉伸一、高島健、高橋太、高橋芳幸、田口真、竹内昭洋、津川卓也、土屋史紀、堤雅基、綱川秀夫、坪内健、藤浩明、徳丸宗利、富川喜弘、中川広務、中川義次、中野慎也、中溝葵、中村琢磨、中村教博、西谷望、西村幸敏、野澤悟徳、橋本武志、羽田亨、馬場聖至、浜野洋三、早川基、林田明、原弘久、兵頭政幸、平原聖文、Huixin Liu、深沢圭一郎、福間浩司、藤田茂、藤田清士、富士原敏也、藤原均、芳原容英、星野真弘、星博幸、細川敬祐、本荘千枝、松岡彩子、松島政貴、松本洋介、三澤浩昭、三島稔明、源泰拓、簗島敬、宮岡宏、宮下幸長、三好隆博、三好勉信、村上英記、望月伸竜、森永速男、八木谷聡、山崎敦、山崎健一、山崎俊嗣、横田勝一郎、横山竜宏、吉川一朗、渡部重十