

地球環境科学者に グローバルな環境の変動を解明して

田村泰一

協力 **松野太郎**
東京大学気候システム
研究センター長・教授

川那部浩哉
京都大学生態学
研究センター長・教授

住 明正
東京大学気候システム
研究センター教授

小川利紘
東京大学理学系
研究科教授

最近、地球温暖化、酸性雨、オゾン層破壊など地球環境に大きな変動をあたえる現象について話題にされることが多く、地球環境問題に対する関心が高まっています。この問題の解決に向けた取り組みの一つに、地球表層の大気や海洋、陸上でおきている現象を研究して地球環境変動の原因を解明する研究があります。皆さんの中には、将来このような研究にたずさわること、人類に貢献しようと考えている人も多いでしょう。今回は、地球環境変動の解明とはどのような研究であり、将来の仕事とするにはどのような勉強をすればいいのかお話ししましょう。

多分野の研究者が取り組む地球環境変動の解明

地球環境に関する研究は、変動の原因解明と、その原因を取り除くための対応（応用自然科学および人文・社会科学のアプローチも含む）の二つの側面があります。このうち地球環境変動の解明については、かなりの部分が地球科学の研究課題としてあつかわれています。

地球環境の研究は、もともと自然のしくみを知ろうという興味からなされてきました。しかし地球は大きく複雑ですから、対象を限定した研究が発達してきました。たとえば大気の物理現象を解明する気象学、海流や波を研究する海洋物理学、湖沼や河川、地下水のふるまいを調べる陸水学、雪や氷河、凍土などをあつかう雪氷学などです。これらはいずれも地球環境の物理的側面に関する学問です。同様にオゾン層、メタン、エアロゾル（雲核になる硫酸などの微粒子）のような大気組成とその変化を研究する大気化学、海水の組成や変化を対象とする海洋化学といった化学的側面をあつかう分野もあります。さらに地球上各地の植物や動物の分布を調べ、気候条件など環境とのかかわりや、生物集団の内部がどのように相互作用しているのかを研究する生態学もあります。

近年、これらの個別対象について理解が進むにつれ、それぞれの現象が地球の上でどのように関連しているかを総体として理解する流れが急速に強まってきました。具体的には、気候変動や物質循環の研究をあげることができます。地球環境の研究は、伝統的な地球科学や生態学の研究室で行われる一方、新設された研究機関で総合的な取り組みがなされたり、総合的研究テーマを複数の研究機関の研究者が協力しながら追究したりしています。したがって地球環境変動の解明には、伝統的学問分野の発展と、新しい総合的アプローチの両面が必要であることを忘れてはなりません。

地球科学系以外の学部でも勉強できる。

地球環境の変動について学ぶには、理学部地球科学系など関連する分野の学部・学科をもつ大学に入るとよいでしょう。ただ地球科学といっても範囲が広く、大学によって得意な研究分野がちがいます。また、ほかの学部・学科でも地球科学に関係する研究を行っていることがあり、大学院での研究も考えれば選択の幅はかなり広がっています。

たとえば理学部物理学系でも研究されている場合がありますし、海洋の波浪や沿岸流との関係から工学部船舶・海洋工学系で研究が行われている場合もあります。水資源をいかに制御するかの観点から、水文学として工学部土木工学系で研究されている場合もあります。最近では地球を立体的に把握するため、リモートセンシング（遠隔測定）などの技術開発も重要な課題になってきており、工学部電子・情報工学系がそれに関係してきます。今回はくわしくはませんが、生態系が気候に影響をあたえていることから農学部や理学部生物学系も対象になります。さらに、これら地球科学に関連する学科を統合化して大学院に環境○○研究科などがつくられ、現象の総合的解明に取り組む動きも

なるには 地球を救おう

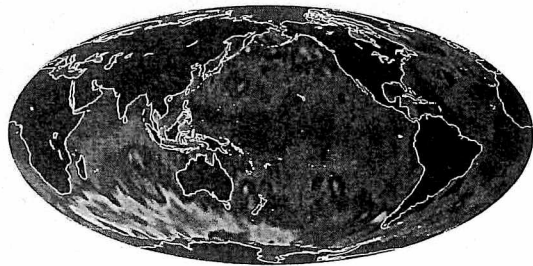
安成哲三

筑波大学地球科学系教授

山形俊男

東京大学理学系研究科教授

地球温暖化やオゾンホール、酸性雨といった問題がクローズアップされている。そこで大気圏から陸圏、海洋に至るまで「母なる惑星」のしくみを解明する地球環境科学者への期待が高まっている。この分野について学びたい人、その研究を仕事にしたい人へ、進学から就職までのノウハウをくわしく紹介する。



出てきました。ただしその一方で「環境」を冠した学部・学科でも、必ずしも全面的に地球環境の研究をしていない場合があります。よく確認したほうがいいでしょう。

いずれにしても大学を決める前に、どのような授業があり、その大学の学部・学科でどの分野の研究をやっているかを専門書などで調べましょう。最近では各大学や大学院で学科・専攻別のパンフレットを用意している場合が多いので、問い合わせしてみてください。また大学の付置研究所や国立研究機関では一般公開などを実施していますから、活用することをおすすめします。なんといっても大学選びで最も重要なのは、素晴らしい教官と出会うための目を養うことなのです。

大学時代には幅広い教養を身につけよう。

地球環境の変動を解明する研究には、その対象や興味に応じて、物理学的手法、化学的手法、生物学的手法などが

あります。物理学的手法では数理物理的な基礎科目について断片的ではない深い理解力が必要とされ、化学的手法では地球化学的なセンスで化学現象を解明するための実験や分析をする能力と、化学反応を理論的に見きわめる理解力が必要とされています。生物学的手法では生物群集と周囲の環境との相互作用を把握するために行うフィールド調査が基本であり、生態学など関連する生物科学についての理解力が必要です。

それでは必要とされる授業科目について、物理学的手法を主体とした例をみてみましょう。まず高校から学んでいる微積分や線形代数（行列を含む）が、ひきつづき重要になってきます。すべての現象の基礎となる力学を中心に、気体の挙動や水蒸気→水→氷のような状態変化と熱の移動の関係を考える熱力学、電磁波（赤外線や電波など）放射の基礎となる電磁気学も勉強することになります。またスーパーコンピュータによるシミュレーション研究がさか

「地球」に興味をもちつづけよう。

松野太郎

子供のころ田舎に移り住んだせいか、さまざまな自然現象に興味をもつようになりました。強い台風に襲われた経験もあって、天気の変化がどうしておきるのか、天気予報はなぜ可能なのか（しかし、なぜよくはすれるのか）を知りたいと思っていました。それで高校卒業のころになると、気象変化のメカニズムを解明する研究者になりたいと思うようになりました。

大学では専門課程に入ってから数学や物理が好きになり、周囲にくらべておくれをとっていたという意識もあって、基礎的な勉強をよくしました。大学院では多くのテーマに興味をもち、さまざまな研究を手がけていたので、研究者としての蓄積にはなったと思いますが、論文はまとまりませんでした。もともと気象の現象面に興味をもっていたのですが、自分には数理物理的な分析や理論のほうに向いているということ、このころ他人との比較で気づきました。

大学院生時代には、同年代層の仲間とのつきあいや討論を通じて、その分野の中で自分の特徴を生かす方向がどこにあるかをみつけることがだいじだと思います。私はもともとアマチュア的に気象が好きだったので、このような過程を経て自分の位置を決めることができました。振り返ると、ほかの人も同様に、大学院に入ってきたときの当初の考えとは多少ともことなる方向に研究を展開しているようです。

大学院を出てからは、自分の興味とその時々 of 学問の状況とのかね合いでテーマを選び、研究をしてきました。気象学以外にも興味をひかれる問題がたくさんあり、テーマをしぼるのがあまり上手ではなかったと思います。

地球科学者をめざすのであれば、とにかく地球に興味をもちつづけることです。プロの研究者になると、ともすると研究者集団（社会）の中で持ち場（テーマ）を決め、仕事をするサラリーマンになってしまいがちです。現在の巨大科学時代は、そのような人もいなくなりはなりませんが、しかし中心になっているのは、やはり根っから研究が好きな人たちののです。



京大学気候システム研究センター長・教授。1994年10月1日より、北海道大学大学院地球環境科学研究科大気海洋環境科学専攻教授に転任の予定。理学士。1934年、長野県生まれ。京大学理学部地球物理学科卒業。同大学大学院数物系研究科物理学専攻博士課程修了。専門は気象学。成層圏大気の力などについて研究している。

地球規模の環境問題



地球環境変動の解明に関連する学問状況分類表

分野	内容	主な研究課題	主な観測手段
個別研究	大気からのアプローチ 分野1	気象・気候に大きな影響をあたえる大気過程を調べ、局地的な変動と地球規模での変動がどのように関係しているかについて研究する。エアロゾルの形成や雲が太陽光を反射する効果について、さらに上層と下層の大気の関係や気候、大気化学に関する過程についても研究する。	台風発生機構/気象の長期予測/異常気象の研究/オゾンホール/発生過程/赤道域の上層大気現象
研究	陸水・雪氷圏からのアプローチ 分野2	湖沼や地下水、極地などにある雪氷などの陸上における水・物質循環や蒸発散を調べ、それが地球環境とどのようなかわりを持ち、どのような影響をあたえているかを研究する。	航空機/人工衛星/観測ロケット/定常気象観測/ライダー/レーダー/大気球
	海洋からのアプローチ 分野3	海洋の熱・物質の流れや大気とのやりとりなどを調べて、それにもとづく熱・物質の流れのモデルをつくり、地球環境や気候変動にどのような影響をあたえるかを調べる。海洋の生物化学現象も重要な研究課題で、とくに温室効果気体である二酸化炭素の吸収や放出については、地球温暖化の観点から注目されている。	航空機/人工衛星/雪氷ボーリング/フィールド調査
	生物圏からのアプローチ [海洋・陸上の生態系] 分野4	海洋や陸上の生態系が地球化学サイクルとどのような関係にあるのかを調べ、生態系が気候変動にどのような影響をあたえるかを予測する。生物多様性研究などもある。	黒潮変動や冷水塊/世界の海流の研究/海水の研究/赤道潜流の変動とエルニーニョ
全領域研究	物質循環研究 分野5	メタンや窒素酸化物のような大気中の微量成分の発生や反応、消滅過程および海洋中の二酸化炭素や栄養塩など溶存物質の直接、あるいは生物を介した反応と輸送などを調べ、それらを総合して大気や海洋、生物間の物質の流れを解明する。	砂漠化機構の解明/熱帯多雨林問題/遺伝子生態系多様性
	気候システム研究 分野6	全地球にまたがる観測データの分析やコンピューターを用いた気候モデルの作製、全地球規模の気候やその変動の現象解明を行う。	二酸化炭素の循環/窒素、硫黄など親生物元素の循環/生物起源エアロゾル
装置開発研究	観測技術開発 分野7	マイクロ波～紫外線までの電磁波を利用して大気(雲の構造、大気成分、風向)や海洋(海面高度、海面温度)を測定するセンサーの開発、光を利用したライダーの開発など、計測技術の研究を行う。音波や人工衛星を利用した海洋音響トモグラフィをはじめとする新しい海洋観測装置の開発や、GPS(全地球位置把握システム)を利用した高精度位置測定システムの開発も行う。	雲が気候にあたえる影響/地球温暖化現象の研究/氷河期など古気候の研究
			大気レーダー開発/ライダー開発/航空機搭載マイクロ波センサー開発/人工衛星搭載各種センサー開発/次世代海洋観測装置開発

んですから、計算機になれておくといいでしょう。

主な専門科目としては、統計力学、量子力学、量子化学、地球流体力学、大気物理学、大気化学、海洋物理学、海洋化学、海洋生物学、生態学などをあげることができます。もちろんすべての分野について手を出す必要はありませんが、地球科学系だけではなく他分野の授業にも関心をもってください。

外国の論文を勉強する必要もありますし、最近では国際共同研究も多くなっていますので、大学時代に読解、作文、会話ともに英語はしっかり勉強してください。地球環境の研究は総合的思考が必要ですから、社会科学的な問題にも関心をもち幅広い教養を身につけてください。

これらの勉強をひととおり終えた4回生は多くの場合、研究室に配属になります。そこで半年または1年の間、あたえられたテーマに取り組んで卒業論文を書き上げ、大学での勉強は一段落します。

他学部出身でも大学院で地球環境を学べる。

大学で学んだ内容について深く研究したいと考えたら、大学院に進学してさらに勉強しなければなりません。ここで少し大学院入試のことについてふれておきましょう。理工学系の大学院入学試験は8月下旬から9月下旬の間に行為れ、試験科目は、英語、数学、物理学、化学の基礎科目と専攻の専門科目です。ただ学際的な領域であるため、専門科目については地球科学以外の科目で受けられる場合も多いようです。

大学院は、出身大学の学生以外入学できないのではと思っている人もいますが、大学院の拡充や大学院独立専攻（対応する学科が学部にはない専攻）の設置にともなって、他学部や他大学からこれらの大学院に入学する学生が年々増加しています。他大学で地球科学系を専攻した人が入学する場合もありますし、応用数学、物理学、化学、生物学などを専攻した人が入学することもあります。大学に入ってから地球環境の研究をしたいと思うようになった人も、挑戦してみてください。

大学と同じように、学部・学科の名前が一見、地球科学系でない場合でも、地球環境の研究をしている大学院があります。たとえば人工衛星によるリモートセンシングでは高度な技術を必要としています。そこで工学部電子・情報工学系の出身者がその経験を生かして課題に取り組む場合もあります。とにかく地球環境の研究には、さまざまな学問分野の知識が必要であり、多様な経験と知識をもつ人材が求められているのです。

大学院に進学すると自分の希望する教官の研究室に所属して、修士で2年間、博士で3年間の研究指導を受けます。地球環境変動の解明にはさまざまな研究分野があり、それぞれの才能と興味に応じていろいろななかかわり方がります。それでは大学院ではどのような研究をするのか、対象別に観測のようすや研究室での活動を紹介します。

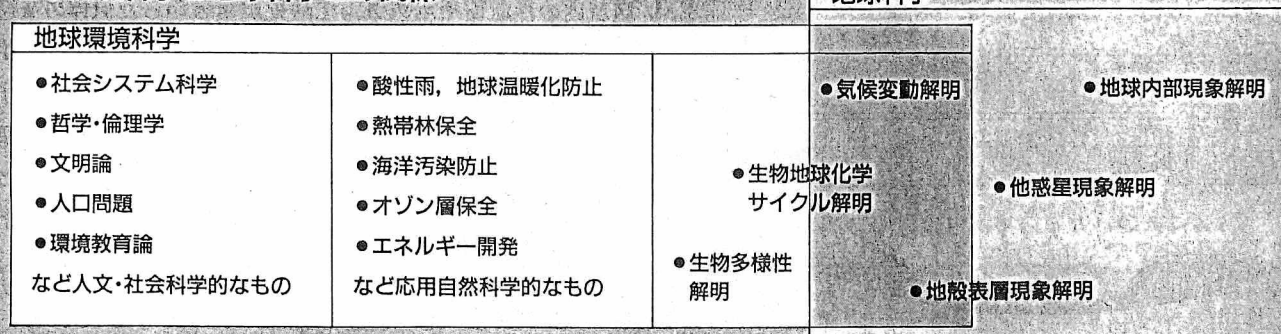
(1) 空の観測

空の観測には直接その場へ行って測定・採取する場合と、遠隔測定する場合があります。直接測定では航空機や大気球に観測装置を搭載して大気のサンプルを採取したり、温度、気圧、湿度、オゾンなどの微量な成分を測定したりします。航空機の場合は実際に搭乗して2～3時間、大気球の場合は1～2日ぐらい観測します。大気球の到達できない上層大気は、ロケットを打ち上げて観測することもあります。

リモートセンシングには人工衛星を使って上空から観測する方法と、地上から観測する方法とがあります。上空からの観測では大気に当たって散乱・吸収された太陽光の量や大気の熱放射を分光計で測定したり、放射したマイクロ波の反射波を受信して各種の測定を行ったりします。大気中の分子はその性質によって特定の波長の光を吸収・散乱するので、光のスペクトルを分光測定すれば大気を構成する分子の種類と量がわかるのです。さらに赤外線を使うと、大気の熱放射の状況から気温分布を求めることができます。

マイクロ波は水蒸気量によって反射率がちがうので、雲の構造や降雨量を調べるのには有効な手段です。地上からの観測でも大気観測レーダーを使って大気からの反射・散

地球環境科学と地球科学との関係 今回の記事で取り上げたのは、緑色の部分です。



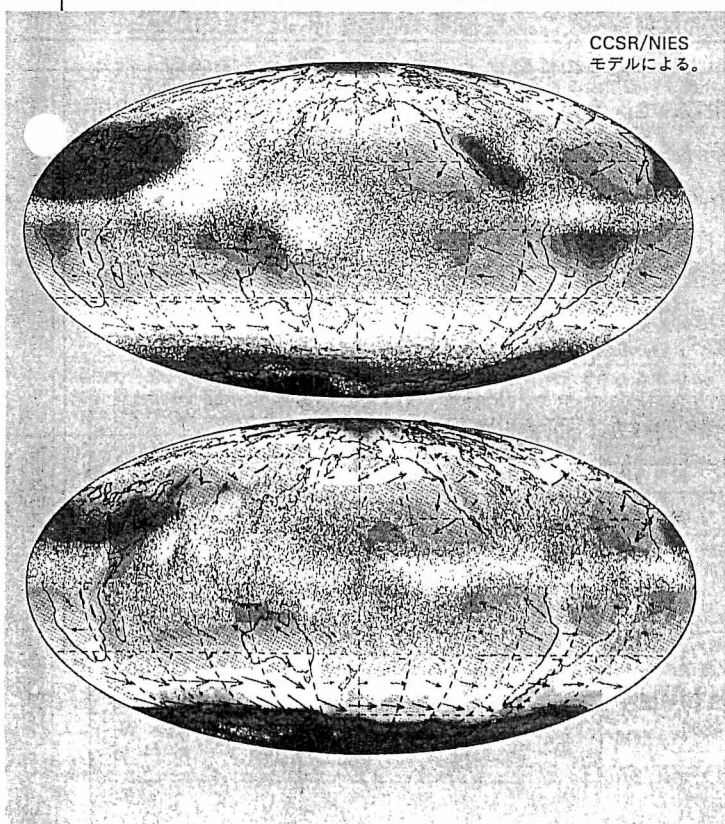
乱波を観測し、風や降水雲の状態を調べることができます。最近では上層大気までの広い範囲を観測するために「MUレーダー」とよばれる大気観測レーダーが実用化されており、風速、降水雲、大気の流れ現象の観測が行われています。強力なレーザー光を上空に放射して大気からの散乱光を測定し、雲の発生に関係のあるエアロゾルやオゾン、水蒸気量などを測定できるライダー（レーザーレーダー）も活用されています。

一般に大がかりであるため、これらの観測装置は大学の付置研究所や国立研究機関にある場合が多く、自分で出かけて行って観測するか、共同研究の一環としてデータをもたらすことになります。とくに人工衛星については打ち上げた機関が運用やデータ処理を行っており、そこから希望するデータをもたらすことができます。

(2) 海の観測

表面付近を除いて海中には音波しか伝わらないため、海の観測は海洋観測船で直接調べに行くのが一般的です。船の中には分析装置をそなえた簡単な実験室があり、採水器でくみ上げた海水の化学成分を測定するなどの作業を行います。海洋観測ブイによる測定もよく行われます。ブイは普通ロープで係留^{けいりゅう}されており、海底から海面まで、あるいは海面から数百メートル下まで、一定の間隔に温度計や圧

気候モデル(物理法則にもとづいて地球上各地の気温や気圧、風、降水量などの時間による変化を計算するもの)を用いて、コンピューターで求めた6~8月の平均気温(赤が高温、青が低温)、風(矢印)、雲量(白点)の全球分布(上)と、対応する実際の状態(下)。



力計、流速計、塩分計などがついています。設置して半年から1年ぐらいそのままデータを記憶装置に記録しつづけ、次に船できたときに回収されます。ブイはロープが切れて漂流してしまうこともあり、どこの機関でも悩みの種のようなのです。海中で大型粒状物質の垂直移動量を測定するため、「セジメントトラップ」といわれる観測器具をブイと同じように設置し、一定期間後に回収することもあります。一実験航海は1か月以上になることが多いようです。航海を終えて研究室にもどったら、採取してきたサンプルやデータを分析します。

最近ではリモートセンシング技術が発達し、海洋表面の広域なデータを人工衛星から得られるようになりました。観測対象はいろいろあります。海面温度は赤外線などによって計測し、その温度分布を画像化すると海流のようすがよくわかります。マイクロ波は波浪などの物理的条件によって反射の度合いがことなるので、海面の状態を調べることができます。さらに海面の基準面(ジオイド)からのずれをはかることで、海流の速度分布が求められるようになりました。海は海水に含まれているプランクトンの活動量によって色がちがっており、この海色を測定すると二酸化炭素の研究に関連する生物生産量を定めることができます。

海の中を広範囲に観測するには、これまでブイなどを数多く投入するしかありませんでした。しかし現在開発中の低周波音源を利用した海洋音響トモグラフィーを使えば、海中の温度分布や流速分布が広範囲にわたってかなり短時間の間に得られるようになるでしょう。

(3) 陸上の観測(雪氷^{けん}圏、生物圏調査を含む)

陸上の観測には、現地に行き必要なデータを取得するのがこれまでは一般的でした。しかし最近ではマイクロ波^{かしこう}を利用した、人工衛星による観測もさかんになっています。赤外線の観測によって地上からの熱の放射量がわかりますし、湖沼や河川のように、植物の生育状況^{どじょう}、土壌の種類なども人工衛星から放射したマイクロ波の反射状況によってわかります。南極や北極、氷河などの雪氷の観測にも、人工衛星のデータが利用されるようになりました。

生態系研究などではテストフィールドをつくって、その区域内の熱収支や水蒸気、二酸化炭素といった気体の交換量を直接測定することがあります。森林やさまざまな植生が気候にあたえる影響を研究するのによく利用されています。氷床^{ひようしょう}をボーリングして円柱状のコア・サンプルを分析すると、何万年も前から気候の経年変化を研究することができます。一般的に地下水や雪氷、土壌の化学成分を上

空から観測するのはむずかしいので現場に行かなければならないことが多く、越冬観測隊の一員として南極におもむいて調査研究をする場合もあります。

(4) 研究室内での活動

それでは研究室における活動の一端をみてみましょう。大きく分ければ観測で得られたデータを分析・整理することと、理論的なモデルを構築して現象がどのような過程にもとづいておきているかを解明することからなっています。地球科学では広範かつ大量のデータをいかに効率よく分析・分類するかということに、研究の成否がかかっているといっても過言ではありません。一般にこの作業はたいへんなのですが、大発見はこのじみな作業の積み重ねからなされています。

データの整理作業が終わると、それをもとに時間や場所、高度などにもとむ変化を、表やグラフにして統計学的に傾向を分析します。分析が終わると、さまざまなデータと突き合わせて、なぜそのような現象がおきたかを究明していくのです。最近では考えられる過程を組みこんだ数値モデルをつくり、世界最高性能のスーパーコンピュータを何百時間も動かして、数十年にわたる地球規模の気候変動のシミュレーションを行う場合もあります。一方、気象観測データのように一般的かつ大量なデータを整理して独自のデータを抽出し、解析研究を行う研究者もいます。

研究室では、人工衛星に搭載する観測機器や、地上や海洋に設置する観測機器の研究を行っていることもあります。とくに大学と研究機関が協力してこれらの機器を開発するケースがふえています。もしかしたら将来、皆さんの開発した装置が、人工衛星に搭載されることがあるかもしれません。

大学院での研究成果が就職にもつながる。

研究成果を論文にまとめて博士課程を修了すれば研究者の仲間入りです。就職については自分の所属していた研究室の助手になることもあります。しかし多くは全国の大学の助手や国立研究機関の研究官などの公募に応募して、競争の中から研究場所を獲得します。したがって大学院時代、いかにすばらしい研究成果を上げたかが、研究者として就職するうえでも重要になります。

国立研究機関に就職する場合は国家公務員試験の合格者から選抜されることが多いので、前もって合格しておいたほうがいいでしょう。海外の大学や研究機関に入り、そこで活躍している人も多いようです。研究室での経験を生か



海上気象や氷の観測をするため、海洋科学技術センターが北極に氷海用自動観測ステーションを設置しているところ。

し、いろいろな民間企業で働く道もあります。

地球環境問題の解決には学際的な研究が必要

今回は地球環境変動の解明に関する教育・研究を中心に取り上げましたが、地球温暖化や大気汚染を防止する技術の開発、クリーンで安定的に供給されるエネルギーの開発など応用自然科学的な研究も、地球環境保全のためには重要です。環境悪化を抑制するために、社会システム科学、哲学、倫理学、人口問題、環境教育などの課題について、人文・社会科学的な取り組みもなされています。これらの分野についてはまた別の機会にふれることにします。地球環境問題の正しい解決策は、さまざまな分野を総合化してはじめて得られます。したがって地球環境に関する研究は、今後さらに広範囲にわたる学際研究へと発達していくでしょう。

こうした研究から得られた成果を実行に移していくために、国連をはじめとする国際機関や国内の官公庁に入り、地球規模の観測研究計画や国際協力についての調整や地球環境保全のための外交交渉、企画立案など、政策的な仕事をする人の役割も重要になっています。

いずれにしても地球環境問題の解決に貢献しようとする人にとってだいじなのは、今日からやれることを実行する行動力と思いやりではないかと思います。人類とほかの生物が調和する新しい時代が地球にくるかどうかは、皆さんの双肩にかかっているのです。

●皆さんが参考にするといわれる文献

- 『海洋物理』 永田豊著（講談社ブルーバックス）
- 『どうする地球環境』 日本化学会編（大日本図書）
- 『地球環境の危機』 内島善兵衛編（岩波書店）
- 『地球の気候はどうして決まるか』 住明正著（岩波書店）
- 『地球環境問題とは何か』 米本昌平著（岩波新書）

地球環境変動の解明に関連する教育・研究をさかんに行っている大学の一覧 (平成6年5月現在)

大学	学部・学科	この分野の主な研究内容
北海道大学	理学部地球物理学科 水産学部水産学科 地球環境科学研究科大気海洋圏環境科学専攻 環境科学専攻 地圏環境科学専攻	●大気、陸水、海洋が気候にあたえる影響について幅広く研究を行う。【1, 2, 3】 ●海洋における物質循環、海洋生態系における化学物質の役割、赤潮、貝毒、磯焼けなどの研究を行う。【3, 4】 ●大気や海洋の循環の理論とコンピューターモデル、二酸化炭素を中心とした海洋中の物質循環の研究を行う。【1, 2, 3, 4, 5, 6, 7】 ●気候変動や人為的インパクトによる地球環境の変動、雪氷現象と気・水・陸圏環境の関連、雪氷現象の基礎的物理過程などについての研究を行う。【2, 4, 5】 ●付属流水研究施設を有し、雪雲や海水、極地の雪氷が、海洋や大気などにあたえる影響について観測理論研究を行う。大学院理学研究科地球物理学、植物学、動物学、化学第二専攻、地球環境科学研究科大気海洋圏環境科学、地圏環境科学専攻、農学研究科農芸化学専攻の教育に参加。【1, 2, 3, 4】
	低温科学研究所	●やませの発生機構の研究に特徴がある。大気―海洋―雪氷圏の相互作用の研究を行う。【1, 2, 3】
弘前大学	理学部地球科学科	●気象学分野では地表面気象が気候におよぼす影響、植生地や雪氷、裸地面と大気の熱や水との交換過程、砂漠化の物理過程を研究する。海洋学分野では大気と海洋の相互作用、海洋の熱循環、海洋変動と気候変動、エルニーニョの発生過程などを研究する。【1, 2, 3, 6】
東北大学	理学部宇宙地球物理学科	●大気・海洋変動の実態とメカニズムを総合的に解明し、航空機や人工衛星を使った二酸化炭素やエアロゾルの研究、人工衛星や船舶、航空機、パイ、気球を用いた海洋や大気の観測研究を行う。【1, 3, 5, 6, 7】
	大気海洋変動観測研究センター 生物学科 遺伝生態研究センター	●地球環境変動が陸域やサンゴ礁の生態系の機能と構造におよぼす影響、およびそのフィードバック機構について研究を行っている。【4】 ●陸圏微生物のはたらきと動態の解明や地球環境変動、とくに紫外線量の増加が植物や微生物の生育におよぼす影響についての研究を行っている。大学院農学研究科農芸化学専攻、農学専攻の教育に参加。【4】
信州大学	理学部生物学科	●陸域については植物を中心とした高地での環境適応現象を研究している。陸水については湖沼の生態系の構造と機能や生物の相互作用、富栄養化機構、水環境の保全について諏訪湖や木崎湖をフィールドとした研究を行っている。特徴的施設として付属諏訪湖実験所がある。【4, 7】
山梨大学	工学部土木環境工学科	●中部山岳地域を主たるフィールドとして、地震や火山噴火など大規模災害をもたらす地殻変動の予知・防災に関する研究、酸性降水の陸水への影響にかかわる地質条件の検討、湖沼環境の研究、地質学的調査にもとづく第四紀気候変動の復元などに取り組んでいる。【2】
	工学部土木環境工学科	●人工衛星による地上降雨量の推定。東南アジア・太平洋地域の降雨発生メカニズムの研究を行う。【2】
茨城大学	理学部地球科学科	●地球の大気環境の変動を、太陽活動や海洋大気相互作用などのグローバルな視点からとらえる。太陽フレアが超高層大気にあたえる影響や、大気循環とオゾン層の変化などを、データ解析や数値モデルによって解明する。【1】
千葉大学	理学部地球科学科 生物学科 工学部情報工学科	●河川や地下水などの陸水が気候にあたえる影響について研究を行う。【2】 ●古環境について研究を行う。東アジアにおける森林生態系の分布と動態の研究に特徴がある。【4】 ●人工衛星で地球環境変動を解明するための観測技術とデータ処理技術の研究を行う。生物圏を主な対象としている。【7】
筑波大学	自然科学類 (地球科学系)	●大気圏や雪氷を含む陸水圏、生物圏の相互作用に関する研究を総合的に行う。モンスーンとENSO(エルニーニョおよび南方振動)の研究に特色がある。【2, 6, 7】
	水理実験センター 環境科学研究科大気環境科学専攻 流域環境科学専攻 生物学類 (生物科学系)	●熱収支・水収支観測を有し、水と大気の相互作用に関する基礎データを取得している。【2, 4, 7】 ●広域水循環や物質循環輸送、地球温暖化機構の研究を行う。【2, 4, 6, 7】 ●蒸発散や化学物質の循環、水河変動の研究を行う。【1, 2】 ●陸上生態系と大気二酸化炭素との関連の解明に力を入れている。大気中の二酸化炭素濃度上昇が陸上生態系におよぼす影響を、野外での二酸化炭素や水蒸気、熱フラックス(流量)の実測と、生態系モデルを用いたシミュレーションによって研究している。陸上生態系における炭素循環の研究の一環として、土壌中での有機物分解の機構解明にも取り組んでいる。【4】
横浜国立大学	環境科学研究センター	●植生と土壌の研究が中心。光による大気計測技術や植生の人工衛星画像による解析方法についても研究を行う。大学院工学研究科物質工学専攻の教育に参加。【4, 7】
電気通信大学	電気通信学部電子工学科	●マイクロ波リモートセンシングによる観測技術と大気の観測研究。通信総合研究所と研究協力をしている。【1, 7】
東京大学	理学部地球惑星物理学科	●大気および海洋の大規模な流体力学過程を理論のモデル解析手法を用いて研究しているほか、大気の物理・化学現象を総合的に研究している。人工衛星搭載用大気センサー技術の研究も行い、学内の他部門と協力するとともに研究機関と共同研究を行う。【1, 3, 5, 6, 7】
	地学科 (地理学) 化学科 農学部 気候システム研究センター 海洋研究所 生産技術研究所	●砂漠化などの地球環境変動や降水分布と季節変化についての研究を行う。【1, 2】 ●フロンなどの化学物質がオゾン層を破壊する化学過程の研究を行う。【1】 ●森林が水循環にあたえる影響の研究や熱帯林再生研究を行う。【4】 ●全国共同利用研究所として、各種のデータを駆使した気候モデルの開発とそれにもとづく気候システムの研究を行う。国際共同研究の窓口であり国内の研究体制の中心的存在。大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻の教育に参加。【1, 2, 3, 6】 ●気候に影響をあたえる海洋についての総合的な研究を行う。2隻の海洋研究船を有し世界的な規模で海洋観測を行う。全国共同利用研究所として全国の海洋研究者が利用している。国際的な海洋観測計画に参加すると同時に、大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻、農学研究科水産学専攻の教育にも参加。【1, 3, 4, 5, 6, 7】 ●大気・陸水が気候にあたえる影響、地球環境の計測技術としてのマイクロ波リモートセンシング技術や画像解析技術、および流体の基礎現象などの研究を行う。大学院工学系研究科電子工学、土木工学専攻の教育に参加。【1, 2, 6, 7】
東京水産大学	水産学部	●黒潮などの変動が沿岸海況におよぼす影響や日本海固有水の生成と循環、海洋汚染、海水中の栄養塩と微量金属元素、海洋植物プランクトンおよび海藻による二酸化炭素の固定などに関する研究と教育を行っている。研究練習船「海鷹丸」「神鷹丸」「青鷹丸」による教育や調査研究も行う。【3, 4】
長岡技術科学大学	建設系 (環境システム工学課程)	●陸水、とくに雪氷圏が気候にあたえる影響について総合的に研究。また人工衛星リモートセンシングにより地球規模の水文環境を研究する。【1, 2, 7】
名古屋大学	太陽地球環境研究所 (理学研究科宇宙物理学第2類専攻)	●太陽と地球をシステムとしてとらえ地球環境の研究を行う全国共同利用研究所。オゾンホール機構や火山噴火が大気圏にあたえる影響などをはじめとした大気の化学過程についての研究を行う。気球やライダー、航空機で大気観測を行う。太陽プラズマと超高層大気の相互作用なども研究している。大学院理学研究科宇宙物理学 (第2類) 専攻という研究所独立専攻をもち、工学研究科電気工学専攻の教育に参加。【1, 5, 6, 7】
教育大学	大気水圏科学研究所 (理学研究科大気水圏科学専攻)	●大気水圏環境の構造と変動に関する研究を行う全国共同利用研究所。共同研究を支援する共同研究観測プロジェクトセンターを設置し、大気、海洋や陸水、雪氷、雲、微生物など個別の現象とともにこれらが結合した系を中心とした観測・理論研究を行う。大学院理学研究科大気水圏科学専攻の研究所独立専攻をもつ。【1, 2, 3, 4, 5, 6, 7】
	教育学部総合科学課程総合理科学コース地球環境科学領域	●地球規模での大気変動が地球環境にあたえる影響についての研究を行う。たとえば台風のコースの年変動や偏西風による酸性物質の広域輸送をとらえる酸性雨の分布、地球の温暖化によるヒートアイランド現象などについて継続的な観測と研究を行っている。【1】
京都大学	理学部地球惑星科学科 総合人間学部自然環境科学科 農学部 超高層電波研究センター	●海洋沿岸の循環、大気波動などの力学構造を中心に研究を行う。学内外の機関と研究協力している。【1, 3】 ●環境科学全般に関する学際的・基礎的研究を幅広く行う。【3, 4, 6】 ●森林についての生態学的研究と水・物質収支などについての研究を行う。【2, 4】 ●超高層大気観測用の大型レーダーの開発・観測研究を行う。偵察にMUレーダーと境界層レーダーを設置し、降雨や雲の観測、中層大気の乱流現象や大気波動の観測など大気科学分野に新しい局面を開く。大学院工学研究科電子工学専攻、理学研究科地球惑星科学専攻の教育に参加。【1, 7】
	生態学研究センター 防災研究所	●生態学の基礎的研究を推進する全国共同利用研究所として、生物群集と環境との関係を主に研究している。森林や湖沼が環境や気候にあたえる影響の研究、数値モデルや安定同位体を用いた研究などがある。大学院理学研究科動物学・植物学専攻の教育に参加。【2, 4】 ●大気中の二酸化炭素の増加が、地球規模の気候変動や水文環境におよぼす影響についての研究を行っている。乾燥地気候の研究、台風の発生・発達に関する研究なども行っている。大学院理学研究科地球惑星科学専攻、工学研究科土木工学、環境地球工学専攻の教育に参加。【1, 2, 3, 6, 7】
岡山大学	環境理工学部環境デザイン工学科 資源生物科学研究所	●平成6年10月に新設予定。流域の水環境にかかわる諸現象について研究する。地下における水の流れ方や汚染の伝わり方の研究、地域の水循環にかかわる社会的・歴史的過程の研究、水圏―気圏間の物質移動の研究などを行う。【1, 2, 3, 4, 6, 7】 ●資源生物について、その遺伝子から生態までを総合的に研究する。生物環境反応部門において、植物を取り巻く環境情報の解析やそれらの環境に対する植物の諸反応および適応現象の解明について研究を行う。大学院農学研究科、自然科学研究科の教育に参加。【4】
広島大学	総合科学部自然環境研究コース 工学部 (一般教育)	●地球環境について大気圏や陸圏、海洋、生態系との関係を総合的に研究する。【1, 2, 3, 4, 6】 ●主に海洋環境についての研究を行う。【3】
愛媛大学	工学部土木海洋工学科 農学部	●沿岸域から外洋域への物質フラックスを定量的に明らかにする教育・研究を行う。【2, 3, 4】 ●物質循環や生態系動態の研究などを行う。【2, 3, 4】
長崎大学	水産学部水産学科	●海洋をはじめ広く水圏に分布する生物の生態や生理を、それを取り巻く環境との関連から総合的に研究するとともに、自然環境を構成する生物や物質について探究を行っている。【3, 4】
鹿児島大学	工学部社会開発工学科	●酸性雨や火山災害、閉鎖性水域の汚染などに関する研究を行っている。【2, 3】
	水産学部水産学科 (海洋生産環境系) 工学部海洋土木工学科	●付属練習船を利用した海洋観測を実施するとともに海洋観測ブイの設置・回収を行う。資料解析によって大気・海洋間の熱交換過程や黒潮を含む太平洋亜熱帯循環の運動機構、海洋が運ぶ熱と淡水量の評価などについての研究も行う。【3】 ●主としてトカラ海峡において黒潮の流速変動の測定と熱輸送量の評価に関する研究を行う。【3】

大学	学部・学科	この分野の主な研究内容
九州大学	理学部地球惑星科学科	●地球規模の水循環と降水システムの観測的研究および数値モデル研究、強力な中規模雲システムの形成・維持機構についての解析や数値モデル研究、台風などの大気擾乱や大気大循環、大気波動現象についての数値モデル研究を行う。航空機や人工衛星によりリモートセンシングなどの観測研究も行う。【1, 4, 7】
	総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻 応用力学研究所	●流体物理の基礎研究を行うとともに、大気・海洋の流体現象に関して観測および理論研究を行う。海中環境計測システムの研究もしている。【1, 3, 6, 7】
		●流体や弾性体に関する工学の学理およびその応用の研究を目的に設置。海洋や大気に関するプロジェクト研究を推進している。大気の流れとしての挙動、海洋大循環や沿岸海象などを研究し、海中環境計測システムの研究を行う。大学院工学研究科応用力学専攻、総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻の教育に参加。【1, 3, 6, 7】
琉球大学	理学部海洋学科	●亜熱帯に位置する地理的特徴を生かしたユニークな海洋学研究を行っている。黒潮域の大気・海洋相互作用や二酸化炭素の循環におけるサンゴ礁の役割、琉球弧の古環境、沖縄トラフと地震・火山、サンゴ礁・マングロープ域の生態系など多方面にわたる研究を行う。【3, 4】
東京理科大学	理学部地理学科	●植物などの生態系および雪氷や河川などの陸水系の変動と火山噴火が気候にあたえる影響などについて研究を行う。【1, 2, 3, 4, 6】
	化学科	●大気や海洋、湖沼などにおける地球化学的現象を中心に研究を行う。【1, 2, 3】
東海大学	海洋学部海洋科学科	●主に沿岸域の環境変動機構や海水の流動を物理と化学の両面から研究している。海水や海底堆積物を通じての物質の分布や化学的挙動から、物質の循環についても研究している。海洋循環に密接な関連がある海上風データの解析も行っている。【3】
	海洋工学科	●大規模な海洋環境の実態を海洋内部の詳細な現場観測と人工衛星を利用した広域リモートセンシングによってとらえ、その結果を用いて海洋大循環のモデリングを行い、海洋環境の変動を考察・研究している。また気候変動の大きなかきぎをにぎる海面での大気・海洋間熱・運動量・二酸化炭素フラックスについて、主に人工衛星データを用いて研究している。海洋での植物プランクトン量から基礎生産量を調べるなど生物圏からの地球環境研究も行われている。【3, 4, 6, 7】
	情報技術センター	●熊本に受信局を置き、内外の人工衛星による地球観測データを受信しながら観測・分析研究を行う。外部の機関に対して各種のデータ提供を行う。【7】
東京理科大学	理学部物理学科	●大気物理学を基礎に、大気微量成分が気象や気候へおよぼす影響とその機構解明に関する研究を行う。【1, 6】

地球環境変動の解明に関連する研究・開発をさかに行っている国立研究機関などの一覧（平成6年5月現在）

研究機関	この分野の主な研究内容
運輸省気象庁（本庁）	各種予報や災害予測業務の一環として、天気予報・短期予報や台風予報、津波予報、河川の洪水予報、大気汚染予報などを実施するとともに、必要な基礎研究を行う。また気候変動対策として、温暖化情報センターやエルニーニョ監視センター、オゾン層解析室において観測やデータ収集を行い、予測に必要な研究を進める。さらに気象衛星や海洋気象観測船、ラジオゾンデ、気象ロケット、気象レーダーによる観測やそれによって得られたデータの提供を行うとともに、データを活用した研究も行う。【1, 2, 3, 6, 7】
運輸省気象庁気象研究所	気象や気候に関する基礎研究を行う気象研究の中核機関。人工衛星や海洋調査船、ドップラーレーダー、トレーサー、海洋観測パイなどのデータを活用して台風などの機構解明を行う一方、大気や海洋の物理・化学過程を総合的に研究し、全球的気候モデルの構築をめざす。マイクロ波センサーやライダーの開発も行う。筑波大学自然学類地球科学系と研究協力を実施。【1, 2, 3, 5, 6, 7】
通商産業省工業技術院資源環境技術総合研究所	地球環境の保全、資源やエネルギーの開発と利用を行う国立試験研究機関。大気や水圏の汚染過程の計測・解析・予測研究や二酸化炭素増加にともなう地球温暖化などのグローバルな大気・海洋現象の解明を行うとともに、その対策技術の研究を行う。【1, 3, 4, 5, 6, 7】
環境庁国立環境研究所	地球環境問題の解決に向けた基礎的・総合的な研究を進めている。オゾン層破壊や温暖化現象解明、温暖化影響対策、酸性雨、海洋、森林減少、砂漠化、野生生物保全などの各分野についてプロジェクトチームをつくり、社会科学的なアプローチも含めて研究を推進している。宇宙開発事業団の地球観測プラットフォーム技術衛星（ADEOS）のオゾン層センサーによる観測や地球観測衛星データの解析研究、ライダーなどの観測機器の開発、スーパーコンピュータを用いた大気大循環モデルの開発、地球温暖化対策の効果分析、マレーシア、シベリア、インドなどでの現地における共同研究などを行い、地球環境問題に総合的に取り組む。【1, 2, 3, 4, 5, 6, 7】
郵政省通信総合研究所	電波や光を用いた地球環境計測技術およびデータ処理技術の研究を行う。熱帯降雨観測衛星（TRMM）搭載降雨レーダーの研究開発をはじめ航空機搭載用三次元合成開口レーダーなどの各種レーダーやライダー、地上設置レーダーやライダーの開発を行い、オゾン層や降雨、火山、海洋汚染、大気運動、水床、海水、海流などの観測を行う。宇宙開発事業団や国立極地研究所、NASA（アメリカ航空宇宙局）など内外の機関と研究・開発協力をしていく。アラスカ大学とも共同研究をしている。人工衛星搭載用合成開口レーダーの研究をNASAやESA（ヨーロッパ宇宙機関）、宇宙開発事業団と協力して行っている。【1, 2, 3, 7】
運輸省海上保安庁（水路部）	航海の安全確保を目的とする水路業務の一環として、測量船を利用した海洋調査を行う。海洋観測を中心として、地球環境問題にも対応する。【3】
文部省国立極地研究所（総合研究大学院数物科学研究科極域科学専攻）	南極観測事業の一環として昭和基地などを運営するとともに、極地に関する科学の総合研究を行う。ロケットや大気球、人工衛星、雪氷ボーリングなどの手段を用いて二酸化炭素や熱放射、雪氷、海水を観測し、極地の現象が地球環境にあたえる影響について研究する。総合研究大学院の基盤機関として数物科学研究科極域科学専攻の教育を担当している。【1, 2, 3, 4, 6, 7】
文部省宇宙科学研究所	ロケットや科学衛星などを開発して天体現象の観測や解析および理論研究を行う。地球観測については、成層圏大気観測のための大気球やロケットの打ち上げを行って、大学および研究機関の研究支援をしている。【7】
科学技術庁防災科学技術研究所	各種自然災害の軽減および防止に関する総合的な研究を行う国立試験研究機関。スーパーコンピュータで地球環境変動をともしつた海洋や大気の大循環モデルを構築し、災害ポテンシャル予測モデルの作成に向けた研究を行う。さらに人工衛星データやドップラーレーダーを用いた雪雲や地吹雪の発生域および大気境界層の構造と水収支の観測研究や気候システムの研究も行っている。【1, 2, 3, 6, 7】
農林水産省農業環境技術研究所	農業環境を保全し、自然生態系と調和した生産性の高い農業のための基礎的研究を行う国立試験研究機関。地球環境変動が農業にあたえる影響と農業が地球環境におよぼす影響の両面から、地球温暖化や酸性雨と生態系との関係、砂漠化（土地荒廃）などの過程の研究を行っている。【4】
農林水産省林野庁森林総合研究所	森林や林業、林産業に関する研究を行う国立試験研究機関。森林の蒸発散量など熱や物質の移動過程を研究するとともに、この過程が気候へあたえる影響を研究する。森林における二酸化炭素の交換や酸性雨の土壌に対する影響についても研究している。さらに種多様性や熱帯林の研究も行っている。【4】
農林水産省水産庁遠洋水産研究所	遠洋水産資源に関する国立試験研究機関。人工衛星や船舶で得られたデータを利用し、海洋の物理・化学環境変化など海洋生態系の総合的研究を行う。【3, 4】
建設省土木研究所	河川流域の水循環を解明し、治水・利水計画に反映させるための調査研究を行う国立試験研究機関。とくに地球温暖化が水文におよぼす影響を評価し適切な対策を講じるための研究や、人工衛星によるマイクロ波リモートセンシングについての技術開発を行っている。【2, 7】
理化学研究所	海水中におけるプランクトンの光学的評価および熱や海水の輸送にともなう力学的現象の解明を行う。さらに砂漠化機構の解明についての研究を行う。【1, 3, 4】
宇宙開発事業団	地球観測の分野としては、従来より、気象衛星、海洋観測衛星（MOS-1, 1b）、地球資源衛星（JERS-1）の開発・打ち上げ業務を行っている。地球観測プラットフォーム技術衛星（ADEOS）や熱帯降雨観測衛星（TRMM）については、NASAなどと国際共同開発を行うとともに通産省、国立環境研究所、通信総合研究所などの機関と開発協力を行う。地球観測センターを置き、人工衛星データ受信などを行う。今後は地球観測衛星の開発や運用を行ったり、将来の地球観測システムやセンサー、データ解析技術などを研究する中核機関としてデータ利用を促進する。【7】
海洋科学技術センター	「しんかい6500」や「しんかい2000」などの深海潜水調査船と3隻の海洋調査船を有し、海洋調査を行うとともに、海洋音響トモグラフィや人工衛星など新たな観測技術の利用にも積極的に取り組んでいる。国際的な観測研究にも参加しながら、内外の関係機関との共同研究などによって海洋科学技術に関する総合的な観測・研究を行うことをめざしている。海底の液状二酸化炭素の発見は、センターの研究成果。【3, 5, 6, 7】
滋賀県琵琶湖研究所	気象変動が琵琶湖とその集水域の水質や生態系にどのような影響をあたえているかを研究している。同時に湖沼モニタリングを通して、短期的気象変動の予報の可能性についても検討している。これらの研究を実施するために、湖沼計測技術先端技術計画（レクチャトル計画）を推進中である。【2, 4】
（財）電力中央研究所	民間の研究として、電気事業に関する多分野にまたがった研究を展開している。その中で電力需要予測と気象の影響評価の観点から地球環境に関する研究を行う。酸性雨が陸上にあたえる化学的影響や二酸化炭素の排出が気候変化にあたえる影響評価、温室効果気体を観測するための人工衛星データの検証、データ利用などの研究を行う。【1】

- （注）1：本表は、今回調査を行った範囲の現時点での内容をあげており、このほかにも地球環境の変動解明に関する教育・研究を行っている大学や研究機関はまだあります。
- 2：「この分野の主な研究内容」については、地球環境の変動解明に関する教育・研究をあげたものであり、各学部・学科・機関のすべての内容をあらわすものではありません。
- 3：本表にあげられている大学のうち〇〇専攻としているものは、学科に対応する大学院の専攻がほぼそなわっています。〇〇専攻としているものは、対応する学科をもたない大学院独立専攻です。大学院には博士課程のみ、あるいは修士課程のみの場合があります。
- 4：【 】内の数字は、「地球環境変動の解明に関連する学問状況分類表」に対応した主な研究領域（分野）の番号です。