農業気象 (*J. Agr. Met.*) 47 (3): 195–198, 1991

スイス国立工科大学地理学教室の紹介

鳥 谷 均

(防衛大学校地球科学科)

A Report on the Geographical Institute,
Swiss Federal Institute of Technology Zurich
(Geographisches Institut, Eidgenössische
Technische Hochschule Zürich)

Hitoshi TORITANI

(Department of Geoscience, National Defense Academy,)
Yokosuka, Kanagawa 239, Japan

私は昨年(1990年)11月から、ETH(Eidgenössische Technische Hochschule: スイス国立工科大学)にある地理学研究室(Geographisches Institut)に、客員研究員(Gastdozent)として滞在している。海外での研究生活が始めてである私にとって、この ETH における教育・研究環境は日本のそれとたいへん異なっており、日本での教育・研究活動にとっていろいろと参考になることが多い。今回はこの「海外報告」の場をかりて、この地理学研究室の教育・研究に関すること(組織や活動など)を紹介することにしたいと思う。

なお地理学研究室におけるカリキュラムの説明、研究室のメンバー紹介、他の研究室の様子、そしてスイスの学生生活などについては、この地理学研究室の博士課程を修了した榎本浩之氏(現在、北見工業大学助教授)が「海外だより」として、気象学会機関誌「天気」(Vol.34, 225–226)に掲載しているので、そちらを参考にしてみたい。

さて、この地理学研究室は気候学、水文学、計量地理学の3部門からなる。ETHでは制度上、各研究室に1人の教授がおり、研究室の人事権、財政権を掌握している。現在、この地位には大村纂博士が着任されており、気候学部門の長としても活躍されている。このほかに「肩書教授(Titularprofessor)」が水文、計量地理部門にそれぞれ1人ずつおり、各分野の責任者となっている。日本の研究・教育スタッフは「教授、助教授、助手、事務・技官」となっているが、ここETHでは「教授、研究官、事務・技官」となっており、現在、気候学部門で

は教授1、研究員13、事務官1、技官4(木工・金工、電気・電子技師、コンピュータ技師、プログラマー)の計18名で構成されている。博士課程の学生も、法制上でもまた実際でも研究員スタッフとして数えられているのには考えさせられた(彼らは一人前の研究者として扱われており、同年齢の公務員の給与の約50%の金額を国から支給されている)。

研究員のうち、講義を受けもつことができるのは、原則として大学教授資格論文(Habilitationsschrift)審査をパスした講師(Privatdozent)であるが、若いポスト・ドクター(Postdoktor)でも教授の許可があれば講義を行うことができるようになっている。さらに研究員の多くは任期制であり(permanentではない)、4年に一度、国と雇用契約を更新することになっている。

ここヨーロッパの社会では、各個人の研究業績もさることながら、研究室単位の研究業績も要求される。そしてETHではその研究テーマとして、国立大学の使命である基礎研究的な性格をもち、長期間の研究活動に耐えられ、さらに研究室のメンバー全員がなんらかの形で参加できるものが採用されている(ETH卒業生でノーベル賞を受賞した者は15名(物理7名、化学6名、医学2名)いる。そのことからこの様子が理解できよう)。地理学研究室気候部門でも現在、上の条件を満たしたテーマをもつ4つの研究プロジェクトが実施されている。つぎにその研究テーマを順に紹介することにする。

まず最初にGlobal Energy Balance Archive (GEBA)をあげることができよう。これは、地表面における熱収

支要素の実測値を、世界的な規模で収集するデータ・バンクを構築するプロジェクトである (Ohmura *et al.*, 1989)。この活動は、1987年より「世界気候計画 (World Climate Program)」におけるプロジェクトとしても認められている。

このプロジェクトの目的の一つは、「グローバルな熱収支を再評価しよう」というものである。グローバルな熱収支を評価したものには、Budyko (1963) のアトラスがあり、これは現在でもこの分野の代表的な仕事として認められている。しかしこのアトラスには、「短期間に測定したパラメータを含んだ経験式によって計算した値を用いていること」、「高緯度 (北緯 70° 以北, 南緯 60° 以南) の情報が欠けていること」、さらに「高緯度における融解による潜熱を無視している」という欠点がある。しかしその後 30 年間に、高緯度地域を含む各地域で熱収支に関する観測が数多く行われ、渦相関法など新しい手法によって熱収支各要素が直接に測定されるようになった。そこで、ここで改めてこれらの実測値のみを用いて、グローバルな熱収支を評価しようというのがこのプロジェクトである。

もう一つの目的は、「グラントトゥルース・データとして、気候モデル、衛星放射モデルの改良に役立てる」ということである。人工衛星による観測は、データの少ない海上のフラックスを評価するのにとくに優れている。しかしその観測結果では、「グローバル・サーフィス (全球的表面) アルベドが従来より過小評価されている」。また「この方法を用いて地表面の熱収支を評価するためには、大気と地表面での日射吸収に関する系統的な補正をさらに必要とする」ことなど、解決を要する問題点がまだ多い。その際、この GEBA はその情報源として、衛星放射モデルの改良に役立てることができるものである。同様に気候モデルの性能チェックにおいても、GEBA に収められているデータは欠かすことができないものである。

以上の目的で行われている GEBA は、現在、日射量やアルベドなど 13 項目におよぶ熱収支要素の月平均値を、約 1,600 の観測ステーションから、のべ 150,000 ケ月分収集している。そしてこのプロジェクトは「93 年に熱収支の地図帳をつくる」という目標にむけて進行中である。

以上のように、地表面における熱収支を正確に記述することは現在の気候形成のプロセスを理解する上で重要である。さて、つぎに示すプロジェクトはその過程で生まれた、いわば GEBA の副産物といえるべき物である。Ohmura and Lang (1989) は GEBA に保存されているデータから、ヨーロッパにおいて過去 30 年間に日射

量が系統的に変動していることを明らかにした。この日射量は、地表面の熱収支における主要な熱源であり、気候形成のメカニズムの上で重要な要素である。また、その日射量の変動を記述することは、気候変動のメカニズムを明らかにする上でたいへん重要なことである。さらに近年では、温室効果の観点から大気放射量の変動にも興味が続けられているが、このプロジェクトはまさにその「地表面における放射フラックスの経年変動をモニタリング」することを目的の一つに掲げているのである。

これは Baseline Surface Radiation Network (BSRN) と呼ばれるプロジェクトであり、「世界気候研究計画 (WCRP)」の一つとしても 1991 年に認められている (WMO, 1991)。このプロジェクトの目的は先ほど述べた「地表面における放射フラックスの経年変動のモニタリング」のほかに、「衛星データのキャリブレーションに必要な地表面の放射収支および大気中の放射伝達に関する測定」がある。すなわちリモートセンシングと気候変動に必要な放射量データをグローバルに測定しようというのがこのプロジェクトの目的である。

これには全世界の約 20 の観測組織が参加する予定であり、日本では高層気象台 (館野) と極地研究所 (南極, 昭和基地) の名前が参加リストに載っていた。ETH 地理学研究室はこのなかで、各観測地点から送られてきた実測データを吟味・検討し、再編集 (1 分間の平均値データにする) する中央のデータ・センター (Primary Data Archive) の役割をはたす (ETH は 95 年までこの役割をはたし、それ以後この役割はスイス気象局に移管される予定である)。再編集されたデータは ETH で 10 年間保管されると同時に、アメリカにある NASA Langley Research Center とソビエト・レニングラードにある World Radiation Data Center に送られ、そこでも保管される。

ここでこのプロジェクトにおける主な観測要素を示す。ここで百分率とエネルギー量はこのプロジェクトで求められている精度である (温室効果による放射量の変動をモニタリングするにはこれだけの精度が必要なのである)。

全天放射量 (global radiation, 2% (5 W/m^2))

直達放射量 (direct solar radiation, 0.2% (2 W/m^2))

散乱放射量 (diffuse solar radiation, 2% (5 W/m^2))

下向き長波放射量 (downward long-wave radiation, 1% (4 W/m^2))

高層ゾンデ観測 (風向・風速, 気温, 湿度)

スペクトル別直達日射量 (368, 500, 778 nm)

(要求されている精度は大気上限値の 1% である。

また、368 nm はエアロゾルの評価、500 nm は太

陽放射強度の評価、778 nm は水蒸気量の評価に用いられる)

このプロジェクトの最期段階として現在、ハンブルグ (Hamburg) にあるドイツ気象局 (Meteorological Observatory) では観測で用いられる測器のテストが、また、スイス・ジュネーブ (Geneve) の北東 80 km にあるパイエルン (Payerne) のスイス高層気象台では観測システムのテストが行われている。さらに、ETH と NASA との間では通信衛星を用いたデータ転送試験が行われており、プロジェクトが着実に進行しているという印象をもった。

さて、つぎに紹介するプロジェクトも、GEBA から生まれたといってもいいかも知れない。先に述べた Budyko (1963) のアトラスの欠点、すなわち「数値の不正確さ」、「高緯度の情報が欠けていること」、そして「高緯度における融解による潜熱を無視していること」を、自分達で観測して補ってしまおうというものである。さらに、「グローバルな視点からだけでなく、ローカル (リージョナル) な視点からも現象をみつめる」。これが ETH グリーンランドプロジェクトである (Ohmura *et al.*, 1991)。

このプロジェクトには「平均的な氷床均衡線上の融雪季に関して、地表面における熱収支と質量収支の全要素を測定する」、「氷床上のプラネタリー境界層と自由大気層の構造を調べる」、そして「衛星観測のためのグラント・トゥールースとしての、氷床上の放射量を測定する」という三つの学術的目的のほか、「若い人たちに極地研究を体験させる」という教育的目的がある。とくに、最後の項目を明記するあたりは、研究と同時に教育を大切にすることの地理学教室の雰囲気がよくでている。

さてグリーンランドは大西洋の北にある世界で一番大きな島である (面積は約 218 万 km²)。そしてこの巨大な島のじつに 80% もの面積が、氷床で覆われている (氷床とは 5 万 km² 以上の面積をもって広がる厚いシート状の氷河のことであり、このグリーンランド氷床の面積は 175 万 km²。これは、全世界にある氷河の面積の約 11% にあたる)。ETH 地理学教室の観測地点はこの氷床上、北緯 69° 34' 25", 西経 49° 17' 44", 標高 1,155 m にある。この地点は、グリーンランド氷床西側斜面の涵養域 (雪を蓄えて氷河水を作るところ) と消耗域 (融雪などにより氷河水が流出するところ) の境界 (均衡線) となるところである。ここで放射収支、熱収支、質量収支における全要素!! を個々!! に測定しているのである。さらに明記すべきなのは、「下向きの短波放射量に関して、直達放射量と散乱放射量を別々に測定していること」、「30 m 鉄塔を氷床上に建て (この様な建設作業も地理学教室のメンバーだけで行う!!)、3 高度に超音波風速・温度

写真1 ETHグリーンランド観測地点の全景
(1991年7月25日12時50分GMT)

計とライマン α 式水蒸気変動計を設置していること」、さらに「ラジオ・ゾンデによる高層観測を12時間毎 (特別観測期間では4時間毎) に実施していること」の以上3点である。観測は1990年5月12日～9月8日、91年4月22日～9月2日の2期間にわたって行われ、92年にも引き続いて行われる予定である。

最後に紹介するプロジェクトは境界層を研究している若手研究者、学生が中心となって行っている「ダンスカップ実験 (Dunce-cup Experiment)」である。このプロジェクトの目的は、「メソ・スケールにおけるサブグリッドスケール (約 1 km) の複雑地形が大気境界層にどのような影響をおよぼすか」ということを、制御可能な粗度をもつ実験圃場で、実験的にそして理論的に明らかにしようというものである。

実験は、直径約 1 km ほどある水平一様な牧草地に、移動可能な円錐型の粗度 (高さ 70 cm, 頂角 29°) を約 1200 個ほど並べたテストフィールド作り、その大気構

写真2 Dunce-Cup実験風景(1991年3月5日)

造を記述しようというものである（ダンスカップとは、昔、悪いあるいはなまけた生徒に罰としてかぶせた円錐型の帽子のこと）。このような実験は、風洞実験で行われるもので（林ほか, 1988）、1960年代にはBradley（1968 a, b）によって実験圃場でも行われた。しかしその後、境界層理論やモデル、観測機材が著しく進歩したので、今回これらのものを用いてこのような実験を改めて施行し、大気境界層の特徴を明らかにしようとするにいたったのである。測定には乱流計測をおこなう観測タワー（高さ5 m）が2本、付属タワーが3本、ソーダー・レーダが1台用いられ、三次元的に行われる。なお、この観測は1990～91年冬に行われ、91～92年冬にも予定されている。

以上、ETH 地理学教室のうち、とくに気候部門の組織と活動について紹介した。一教室で「グローバルな視点」と「ローカル（リージョナル）な視点」の両方から現象にアプローチする姿勢、そして国際機関までをまきこむ研究活動のスケールの大きさには、ほんとうに驚いてしまう。しかしその活動は決して派手な突拍子なものではなく、「学問・教育における大学の使命の忠実な遂行」、「着実な研究成果」そして「教室スタッフ一人一人の技量と努力」の上に成り立っているのである。その意味で、この地理学教室の活動は我々大学関係者にとって良い手本となるのではないかと思う。

謝 辞

この報告をまとめるにあたって、ETH 地理学教室の大村纂教授から多くの資料を提供していただいた。ここに厚く謝意を表します。

引用文献

- Bradley, E. F., 1968a: A micrometeorological study of velocity profiles and surface drag in the region modified by a change in surface roughness. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **94**, 361–379.
- Bradley, E. F. 1968b: A shearing stress meter for micrometeorological studies. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **94**, 380–387.
- Budyko, M. I. (ed.), 1963: *Atlas Teplovogo Balansa Zemnogo Shara*. Mezhved. geofiz. komitet, Moskva.
- 林 陽生・成田浩一・鳥谷 均, 1988: ドラッグ法による摩擦速度の評価. 農業気象, **44**, 45–48.
- Ohmura, A., Gilgen, H. and Wild, M., 1989: *Global Energy Balance Archive GEBA. Report 1. Introduction*. Zürcher Geographische Schriften Heft 34., Geographisches Institut, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 62p.
- Ohmura, A. and Lang, H., 1989: Secular variation of global radiation in Europe. in Lenoble, J. and Geleyn, J. F. (eds.): *Current Problems in Atmospheric Radiation*. Deepak, Hampton, VA, 298–301.
- Ohmura, A., Steffen, K., Blatter, H., Greuell, W., Rotach, M., Konzelmann, T., Laternser, M., Ouchi, A. and Steiger, D., 1991: *ETH Greenland Expedition. Progress Report No. 1: April 1989 to February 1991*. Department of Geography, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 108p.
- WMO, 1991: *Radiation and Climate.: Workshop on Implementation of the Baseline Surface Radiation Network, Washington, DC, U.S.A., 3–5 December 1990*. WCRP-54. WMO/TD-N. 406, World Meteorological Organization. 21p.