

KUREX '91 見学記*

—ソ連クルスクにおける大気・地表面相互作用観測計画—

安成 哲三**・大畑 哲夫***・沖 大幹****

1. はじめに

広大なユーラシア大陸での大気・地表面間における熱と水のやり取りは、地球の気候に大きな役割を果たしているはずである。来るべき GEWEX (全地球エネルギー・水循環観測計画) では、地球上最大の大陸であるこの大陸上での大気・地表面相互作用の研究が、当然重要なテーマのひとつとなろう。雪氷圏もふくむこの大陸上での広域の熱・水収支とその変動は、アジアモンスーンへの影響も大きく、私たち日本の研究者も、積極的にこの面での国際共同研究を、展開していくべきではないか。それでも中国とは、文部省の HEIFE (日中共同黒河域地空相互作用研究計画, 天気37巻11号参照) やチベット高原雪氷圏研究計画, 科学技術庁の「砂漠化機構の解明」の一環としての観測的研究などがすでに始まっている。しかしながら、大陸の大半をしめるソ連 (現 CIS) とも、これから共同研究を進めていくべきであろう。

そんなことを考えていた矢先の1991年の1月、わが国の IGBP (地球圏・生物圏国際共同研究計画) の委員長である吉野正敏筑波大学 (現愛知大学) 教授のもとへ、ソ連科学アカデミー地理学研究所から、上記の観測研究計画への参加の誘いの手紙が舞い込んだ。KUREX '91 とは、ソ連のいくつかの研究所が、IGBP や ISLSCP (International Satellite Land Surface Climatology Project) の一環として、共同で企画した国際共同の大気・陸面 (生物圏) 相互作用観測計画で、ロシア南部のクルスクを舞台に観測を行うことから、この名前 (Kursk region Experiment 1991 略して KUREX '91) がつけられている。主たる目的は、衛星、航空機、そして地上の観測を同時に展開し、今後の衛星観測とそのデータ利用の活性化を図ることである。数年前にアメリカのコン

ザ・プレーリー (カンザス) が大々的に行われた FIFE (First ISLSCP Field Experiment, BAMS, Vol. 69, No. 1 参照) のソ連でのミニ版とでもいうべきものである。具体的には、7月におこなわれる集中観測への参加の誘いであった。

さっそく報告者の一人 (安成) が中心となって、何人かの特に若手の GEWEX 関係者と相談した結果、急なことでもあり本格的な観測への参加は無理であるが、今後の共同研究の可能性の打診・交渉もふくめて、とにかく見学を兼ねて行くべきであろうということになった。結局、気象学・気候学、雪氷学、水文学のそれぞれの立場から、安成哲三、大畑哲夫、沖大幹の3名が参加することになった。以下は、1991年7月11日から20日の10日間、この KUREX '91 の集中観測期に現地を訪問した3名による簡単な報告・印象記である。

2. モスクワからクルスクへ

7月11日、モスクワ着。空港にはこの計画の事務局長である地理学研究所水文学研究部長のゲオルギアディ (A.G. Georgiadi) 氏と同研究所地圏気候学研究部長のツォロトクリリン (A.N. Zolotkrylin) 氏のお二人が出迎えてくれ、以後帰国の途につくまで、ずっと私たちに同行してくれた。

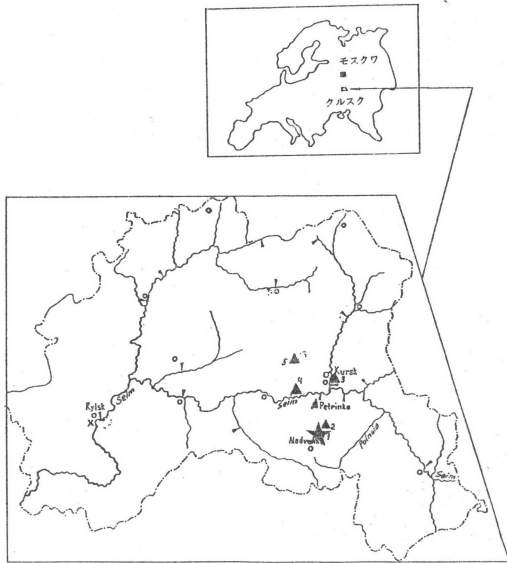
モスクワは、約1か月後にあの8月革命が起こり、ソ連そのものが解体されてしまうという大変な歴史事件の舞台となったわけであるが、見学した赤の広場もレーニン廟も、この時は、全く平穏そのもので、沢山の内外の観光客でにぎわっていた。ただ、インフレは想像以上にひどく、商品に表示してある定価の数倍以上でしか実際には買えないものが多く、例えば東欧からの輸入缶ビール一缶は25ルーブリ (定価は5ルーブリ程度) で、私たちの滞在した科学アカデミー・ゲストハウスの宿泊料金 (一泊シングルで60ルーブリ) と比べても、べらぼうな値段であった。

* Report of KUREX '91

** Tetsuzo Yasunari, 筑波大学地球科学系.

*** Tetsuo Ohata, 名古屋大学水圏科学研究所.

**** Taikan Oki, 東京大学生産技術研究所.



第1図 KUREX '91 の観測フィールドの概略図。
 図中、▲印は主なフィールド観測点、○印は気象官署、□印は水文観測所、×印は、高層気象観測点、★印は、基地となった生物圏研究施設の位置を示す。

しかし、ソ連の地球科学関係の研究への投資は、決して少なくないようで、この KUREX にも、今年度の総予算は約 300 万ルーブリと、ここでの物価を考えると、わが国の大型プロジェクトにも引けをとらぬ大きな額を割り当てられている。この計画のホスト研究機関である地理学研究所は、アカデミーの中でも最も伝統ある研究所のひとつで、研究者は約 200 人、多くの研究部門を有し、広い意味での大気圏・水圏科学をカバーしているようであった。所長はコトツリアコフ (Kolyakov) 教授で、世界的に有名な雪氷学者である。研究者の待遇も想像した以上に良いようで、特に研究室長程度のシニアになると、ダーチャとよばれる別荘が郊外に持てると聞き、羨ましい限りであった。もちろん、このような状況が、破綻状態にあるソ連経済下で、すべての科学研究の分野に当てはまるかどうかは、今回の訪問ではとてもわからなかったが、この国が伝統的に地球科学を非常に大事にしているという雰囲気は十分にうかがえた。

さて、クルスクへは、モスクワからほぼ南へ約 600 km、黒海沿岸の保養都市セヴァストポリ行きの急行寝台車で約 9 時間の旅であった。汽車が動き出すと、同行のお二人が私たちのコンパートメントにやってきて、さ



第2図 KUREX '91 のロゴ・マーク。

っそくウオッカとイクラで酒盛りが始まった。こういう雰囲気はわが国の文化(?)と非常に似たところがあり、ロシア人とは付き合いやすいと感じたのは、私たち飲んべえだけであろうか。すっかり盛り上がった後、眠りにつく間もなく、女性の車掌さんのモーニング・ロシアンティのサービスで起こされると、もうクルスクであった。あたりには、白樺林と畑と草原が混在する広々とした丘陵が続いており、ドニエプル河の水源地でもある中央ロシア丘陵の一部をなしている(第1図)。クルスク市(52°N, 36°E)には、とくに取り立てて言うべきものがあるわけではないが、年輩の方は、第二次大戦の時に、ナチス・ドイツ軍と勇猛果敢に戦ったクルスク戦車軍団の名前を覚えておられるかもしれない。今も大通りの一角には、当時の戦車をそのまま据え置き、激戦の記念碑としている。

3. KUREX フィールド観測地の概観

KUREX の野外観測の舞台は、市の南郊約 20 km の畑地の中にある地理学研究所の生物圏研究施設を中心に行われていた。この地域は、平均標高 20m、気候帯としてはステップ気候に位置し、年降水量は 550 mm、年平均気温は約 7°C、年蒸発量は 450 mm、最大積雪深は 30~40 cm である。地表面状態は、10% が森林、残りが草原(ステップ)に畑作地であるが、その比率は不明である。畑作としては、とうもろこし、蕎麦、大麦、砂糖きびなどである。この地域の土壌は、典型的な黒色の

第1表

| 衛星 | 計測機 | 波長帯 | 分解能 | その他 | | |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------|------|----------------|------|
| Resource-F1 | CA-20M カメラ | 400-800 nm | 5-10m | | | |
| | CA-34 カメラ | 400-500 | 25-30m | | | |
| | | 500-600 | | | | |
| | | 600-700 | | | | |
| Resource-F2 | MK-4 カメラ | 635-690 nm (1) | 6- 8m | 白黒写真 | | |
| | | 810-900 nm (2) | | | | |
| | | 515-565 nm (3) | | | | |
| | | 460-505 nm (4) | 6- 8m | | カラー写真 | |
| | | 580-800 nm (5) | | | | |
| | | 400-700 nm (6) | | | | |
| Resource-0 (以前 Cosmos-I 939) | MSU-E 高分解能走査式システム | 500-600 nm (1) | ? | | | |
| | | 600-700 nm (2) | | | | |
| | | 800-900 nm (3) | | | | |
| | | MSU-SK 多波長走査式システム | | | 500-600 nm (1) | 175m |
| | | 600-700 nm (2) | | | | |
| 700-800 nm (3) | | | | | | |
| | 800-1,100 nm (4) | 680m | | | | |
| | 10.3-11.6 μm (5) | | | | | |
| ALMAZ | SAR | ? | 15m | | | |
| Mir ステーション | CA-20M カメラ | 同上 | | | | |
| [その他] Landsat TM SPOT | | | | | | |

チェルノーゼム土である。

さっそくこの計画のリーダーであるグリーン (Grinn) 教授から説明を受けた。私たちは今回、visitor としてここを訪問したつもりであったが、この計画のパンフレットと共に渡されたロゴ・マークのワッペンには、第2図のように参加国の国旗のひとつとして日章旗も入っており、私たちはソ連側の熱意と手回しの良さに少々驚いた。この計画への全参加者数は約250人、うち外国からの参加は、アメリカ、ポーランド、チェコ、中国、キューバ、日本で、アメリカのグループ(11人)は、かつてのFIFEのメンバーが、カンザス平原との比較観測のために参加していた。(安成記)

4. 衛星および航空機観測

ソ連で打ち上げられていて、今回の観測で使用される衛星及び搭載されているセンサーの一覧表を第1表に示

した。また、数種類の航空機を利用した観測に用いられる測器の一覧表を第2表に示した。この中で、特徴的なのは、スペクトルフォトメーターであり、様々な地表面状態の物理化学的組成と力学的状態、地上及び大気中の人工汚染と人工物を研究する為に開発されたものである。これ以外に、アメリカの研究者が、MI-8型ヘリコプターでスペクトロメーターや放射計を用いて測定を行った。

7月の観測期間中ソ連のミール衛星の飛来に対応して、3回の集中観測日が設けられ、その時に航空機による集中観測が実施されたようであるが、残念ながら事前の情報不足の為、私共が滞在した期間はそれに重ならず、実際に見学することは出来なかった。ただ一度、ヘリコプターに搭乗することができ、沖君の持参した放射温度計とビデオカメラによる地表面温度観測を行なう機会を得た。

第2表 航空機観測

| 航空機機種 | 計測機 | 波長帯 | 飛行高度 | その他 |
|--------------|--|---|------------------------|--------------------|
| TU-134 | MSS スキャナー 地形図カメラ | 7 波長 | 5, 10 km | |
| AN-30 | スペクトルメーター 基準カメラ | | 3-5 km | |
| IL-18 | SLR | X バンド (3 cm) Ka バンド (8 mm) | 分解能 20-50 m (7 km の場合) | |
| | SAR (APA 付) SAR (PA 付) | L バンド (23 cm) VHF バンド | 25-50 m (7 km の場合) | |
| YAK-40 | スペクトル フォトメーター (Gemma-Video) 放射計 (VERAS-64 k) | 400-800 nm (2 nm 分解能) 275-475 nm (64チャンネル) | | |
| MI-8 (ヘリ) | スペクトロメーター GEMMA スペクトロメーター LIS-M 赤外放射計 MARA 赤外温度計 TELETEMP AG-42 | 400-800 nm 400-900 nm 4.0 μm 6.22 μm 10.8 μm 8-14 μm | | 視野角 1 度 視野角 6 度 |

5. 地表面フラックス, 気象観測

この観測の目的は3年前に行なった KUREX-88 観測の継続で、更に幾つかの観測項目が追加された。主要な目的は、この集中観測期間を中心とした時期の地表面での熱収支および水収支各項（地表面水・熱フラックス）を様々な地表面状態の場所でもとめることである。この結果が衛星、航空機の観測結果と比較され、リモート・センシングでそれらの物理量を導出する方法を開発することにつながる。また、今回の観測で新たに付加えられたのは、衛星の受信する信号の大気補正の為に地上での分光光度測定である。現地にかかりでは、この観測に従事している研究者および研究補助者が多かった印象を受けた。それぞれのチームがとうもろこし畑、蕎麦畑やステップの草原に場所をかまえて、観測していた。

とうもろこし畑では、地理学研究所のチーム（主任研究者：Zolotokrylin）が、放射収支測定および傾度法による顕熱・潜熱フラックス測定、地熱流測定を実施していた。また近くでは、大気物理研究所チーム（Volkov, Tsvang）が超音波風速計を用いて、渦相関法で CO_2 を含めた諸フラックスを求めていた。これに関連して、光

合成量測定も簡単な測器を用いて行なわれていた。また水問題研究所（Panin）は、道を挟んだ蕎麦畑で、ライマン α 湿度計など用いた渦相関法、と傾度法によるフラックス測定をしていた。これらのソ連チームは大型の軍用車の中に記録計類を設置し、24時間体制で観測を行える準備をしていた。500m ほど離れた大麦畑では観測車で遠路はるばるやってきたポーランドチーム（Kapus-tinsky）が風速計を下向きにして傾度法によりフラックス測定を行っていた。そして遙か10 km ほど離れたステップの草原ではアメリカチーム（Fritschen）が植生のタイプの違う3種類の草原上で6台の測定システムを稼働させポーエン比法によりフラックスを観測していた。これで感心したのは、2高度の温度・湿度センサーの器差を補償する為に、15分ごとに自動的に入替えていることであった。これら人手のいる観測には、モスクワ大学の地理の気象・気候専攻の学生、アメリカ隊のためには語学の達者な国際関係専攻の学生が総勢25名参加していた。

地上での観測はこれ以外に、分光光度測定をモスクワ大学（Nezval）が実施していた。彼等は、300-575 nm

の間で53点測定できるプリズムを用いた分光器を使用していた。また我々が行った時は準備が出来ていなかったが、樹林帯のなかで樹冠を越える28mの録塔を立て各種フラックス関連パラメータの測定を行なう計画もあった。また、観測ではないが、地上天気図を現地で受信し、解析を行なうとともに、天気予報を出すモスクワのチーム (Kislov) も参加していた。

これは、一つの場において、様々なタイプの地表面を様々な組織の人が様々な手法で測定し、個々の特性と全体としてのフラックスの傾向を把握するひとつの壮大な試みと言ってよい。データは今年中に集成され、各参加者に配布され利用できるようになるとのことである。ここで得られた地表面過程研究の結果はリモート・センシングに繋がることをぬきにしても、単独で大きな成果が期待される。

ソ連のフィールド観測を見たのは今度が初めてである。この KUREX' 91 の計画や観測が整然と、そして組織的に運営されていると感じた。その一つの理由はこの現場が HU 科学アカデミー地理学研究所の生物圏研究施設を基点にしているため、施設がしっかりしていて、人員が確保されていることがあげられる。また、様々な分野の研究者が、計画に応じて専門分野の異なる研究者と組み、一つの目的に向かって協力する体制をとる仕組みが出来ていることがあげられる。これは計画におけるリーダーシップが必要であることを意味し、今回の計画では Grinn 氏 (地理学研究所) がその役割を果していた。(大畑記)

6. 観測地域の水文環境

クルスク (Kursk) 市はモスクワの南、黒海とのちょうど中間付近 (36°N, 52°E) に位置する。

現地で聞いたところによると年間降水量が約 550 mm と、日本に比べると非常に少ない印象を受ける。夏の雨が比較的多く6月の月降水量は平年値で 70 mm 程度であるが、一年を通じて、ほぼ毎月 40~50 mm の降水がある。気温は夏でも月平均気温が 20°C 位までしかあがらず、10月から3月までは月平均気温が零下である。気温の変化のためか、相対湿度は夏に50%位まで大きくなり、冬季は逆に90%位まで上昇する。

流出は春の雪解けの際にしか観測されない。年流出高は約 100 mm だそうである。春季以外の季節は、降水は一旦地表に浸透した後、ほぼすべてがふたたびそこから蒸発してゆくと考えられている。もっとも、森林の多く

が、なだらかな斜面の谷やゆるやかなくぼみに存在していたことから、谷方向への水分移動は当然ながら生じていると推測された。森林部以外は草地 (ステップ) であったが、その多くは農地として利用されていた。

土壌は肥沃でソ連の穀物生産を支える土として有名なチュルノーゼム土である。有機物含有量が多く (約 10%)、黒くて雨が降ったらどろどろになる土壌であった。

7. KUREX '91 における水文観測状況

KUREX '91 では、多様な地表面被覆からの顕熱・潜熱フラックスの測定が大きなテーマであったので、大気の接地境界層観測が主であった。したがって、熱収支観測にとまらぬ地温・地中伝導熱の観測を除けば、いわゆる土壌中の観測はそんなに多くはなかった。

一番多く用いられていたのは中性子水分計で、いくつかのサイトにプローブ用のチューブが埋められていた。他には、地理研が膨大な数の直接サンプリングを行っていた。含水比の測定は、108 度の炉 (oven) に 8 時間入れて乾燥させるのがまじりとなっていた。

他には、USA の Dr. Fritschen (Univ. of Washington) が中性子水分計の他に、比誘電率法 (TDR 法) や、電気抵抗による方法などで土壌水分の測定をしていた。

室内試験では、チェコスロバキアの Dr. Novak がサイクロメータを利用して主に植物の浸透圧などを測定していた。彼は、屋外用プローブに温度勾配ができてしまうので、土壌ポテンシャルの測定は難しいと話していた。彼の屋外用プローブはセラミックのキャップであり、筆者が持参したステンレスキャップのプローブには興味を示していた。しかし、そのプローブでも、屋外での熱電対サイクロメータによる土壌水分計測はうまくいかなかった。

土壌の水分保持特性は加圧板法で 10 bar 位まで測定し、その結果と飽和透水試験の結果を基に Mualem の手法で不飽和透水係数の含水率依存性を求めているそうである。植生に関する研究にも力を入れていて、CO₂フラックスの測定はもちろん、LAI (Leaf Area Index) や、光合成速度や土壌中の根の密度の深度分布なども測定していた。

全体の大きなメインテーマである衛星観測に関しては、米国の LANDSAT や NOAA、フランスの SPOT のデータなどはすでに利用される予定になっていて、日本の MOS-1 もこの地方のデータはヨーロッパ局で (7月の集中観測期間中に2回) 受信されていたことが後の

調査で判明した。他の衛星と比較・検討することがソ連側からも期待されている。米国の飛行機観測では、多波長のパッシブマイクロ波センサで各地表面の輝度温度の測定がなされていた。SLAR (Side-Looking Airborne Radar) も持参しているようだったが衛星に同期させるためか、10日に一度程度しか観測しないらしく、立ち会うことはできなかった。

筆者ら日本チームも、観測する機会を得た。水文観測としては以下の2項目である。まず、チェルノーゼム土のサンプルを取得した。土壌の各種水分特性試験を行なって後日他国の試験結果とつき合わせるはずになっている。また、持参したミノルタ製の放射温度計を使ってヘリコプターから地表面観測をした。ロガーを持参しなかったこともあって大きく揺れる機内での観測は快適なものとはいえなかったが、地表面被覆による放射温度の違いやそのばらつきの違いが実感できたのはよい経験であった。

その他観測手法で気にとめた点は、電圧で測定部から記録部へデータを送ると抵抗による電圧低下が生じるのを嫌って、いくつかのグループは周波数によってデータを転送していた点と、10枚の熱流板を同一深さ(5mm)に埋設するなど、同一の観測を複数のセンサで行なっているグループも多かった点である。

国際共同観測の場に立ち会った感想としては、家族連れで参加している人もいて、観測基地内では幾人かの子どもが遊んでいたりし、総じて緊張感の中にもなごやかさがあり、生活の一部として観測を熱心にやっている印象を受けた。(沖記)

7. おわりに

私たちは、今回の旅行中、ホスト役であった地理学研

究所の研究者と、GEWEXに関連した今後の共同研究について、幾度となく意見交換と議論をおこなった。その結果、アラル海・中央アジア地域やシベリアでの、雪氷圏も含めた水循環と大気・陸面相互作用研究計画を、是非前向きにすすめようということで合意することができた。ところがご存知のように、私たちが帰国してからまもなく、ソ連では国家の大変動が起こり、ソ連邦自体もロシアなどの各共和国に分裂・解体された。KUREXを担っていた科学アカデミーの諸研究所やモスクワ大学も、ロシア共和国の所属にかわった。中央アジア地域は、カザフスタン共和国の領土に変わった。しかしながら、ロシア側の日本との共同研究への意欲は、国が変わっても変わることなく、むしろますます積極的になってきたように感じている。困難な問題は増えたかもしれないが、私たちとしても、こういう時にこそ、よりグローバルな視点での国際共同研究を、積極的にめざしていくべきではないだろうか。

今回の調査旅行の経費の一部は、文部省科学研究費創成的基礎研究C「アジア太平洋における気候変動の研究(研究代表者松野太郎東京大学教授)」によって負担していただいた。ここに記して感謝したい。

参考文献

- 光田 寧・山田道夫・井上治郎, 1990: 黒河流域における大気-地表相互作用に関する日中共同研究(HEIFE)の現状. 天気, 37, 721-725.
 Sellers, P.J., F.G. Hall, G. Asrar, D.E. Strelbel and R.E. Murphy, 1988: The first ISLSCP Field Experiment (FIFE). Bull. Amer. Meteor. Soc., 69, 22-27.