



# 天 気

1988年7月  
Vol. 35, No. 7

1091; 5011 (炭酸ガス濃度変動)

## 大気中の炭酸ガス濃度変動の国際比較観測 (2)ズベニゴロド観測\*

光 田 寧<sup>1</sup>・文 字 信 貴<sup>2</sup>・佐 橋 謙<sup>3</sup>  
米 谷 俊 彦<sup>4</sup>・塚 本 修<sup>5</sup>・大 滝 英 治<sup>5</sup>

### 1. はじめに

大気中での炭酸ガスフラックスを渦相関法で測定するために、最近、応答の速い炭酸ガス変動計が日本、カナダ、米国、ソ連でそれぞれ独立に開発されている (Brach *et al.*, 1981, Ohtaki and Matsui, 1982; Anderson *et al.*, 1984; Elagina and Lazarev, 1984). しかし、これらの炭酸ガス変動計は動作特性が異なっており、観測値を直接比較することには問題がある。そこで、観測結果を統一的に比較可能にするための炭酸ガス変動計の比較観測を計画した。計画の第一ステップとして、1986年7月、日本、カナダ、米国で開発している炭酸ガス変動計をカナダのウィニペグ市郊外の小麦畑上に並置して比較観測を行った。この比較観測の概要はすでに光田等 (1986) が本誌に報告しているので参照下さい。計画の

第二ステップとして、1987年7月から8月にかけて、モスクワの西南西約70kmにあるズベニゴロドで日本とソ連の炭酸ガス変動計の比較観測を行った。

以上2回の比較観測により、日本の炭酸ガス変動計の性能を介して、現在開発されている炭酸ガス変動計の動作特性を比較することができる。詳細な解析結果は別の機会に報告されることになっているので、ここではズベニゴロド観測の概要を報告する。

### 2. ズベニゴロド観測の概要

ズベニゴロド観測には岡山大学の塚本と大滝が参加した。手紙の交換だけでは明確に理解できていなかったが、ズベニゴロド観測はソ連科学アカデミーの大気物理研究所による完璧な支援のもとに実施されることになっていた。Dr. A. Oboukhov 所長に招かれ、共同研究の意義、研究の進め方等について話し合った。Oboukhov 氏は思索の深さを感じさせる研究者であった。ユーモアを好み、あまり飾らないお人柄だったが、非常に力のある人であった。大気物理研究所を案内して下さったときには、研究所の人々が神経をピリピリさせていた。観測の実質的な責任者は行動力のある Dr. Yu. A. Volkov 副所長であった。Oboukhov 氏とは少し異なったタイプの研究者であった。何事も即断即決できる人だった。ズベニゴロド観測の期間中はもとより、ソ連滞在

\* An international comparison experiment for measuring atmospheric fluctuations of carbon dioxide by fast response instruments  
(2) Zvenigorod experiment.

1. Yasushi Mitsuta, 京都大学防災研究所.
2. Nobutaka Monji, 大阪府立大学農学部.
3. Ken Sahashi, 岡山大学教育学部.
4. Toshihiko Maitani, 岡山大学資源生物科学研究所.
5. Osamu Tsukamoto・Eiji Ohtaki, 岡山大学教養部.

第1表 日本とソ連の炭酸ガス変動計の性能. 参考のために表中にはカナダと米国の炭酸ガス変動計の性能も記入してある.

	日 本	ソ 連	カナダ	米 国
光 路 長 (cm)	20	16×8	20	20×4
赤 外 光 源	セラミック	タングステンランプ	ニクロム線	白金線
検 知 器	PbSe (-15°C)	InSb (-196°C)	PbSe	PbSe (-30°C)
冷 却 方 法	空 冷	液体窒素		水 冷
フィルター波長				
CO <sub>2</sub> 用 (μm)	4.3	4.3	4.3	4.3
H <sub>2</sub> O 用 (μm)	2.6			
参 照 用 (μm)	3.9	3.9	3.9	3.9
	2.3			
電 気 演 算	デジタル	アナログ	アナログ	アナログ
測 定 範 囲 (ppm)	±100	±100	0~1300	±175
雑 音 (ppm)	<0.8		5	0.2
ド リ フ ト (ppm/h)	<1			0.5

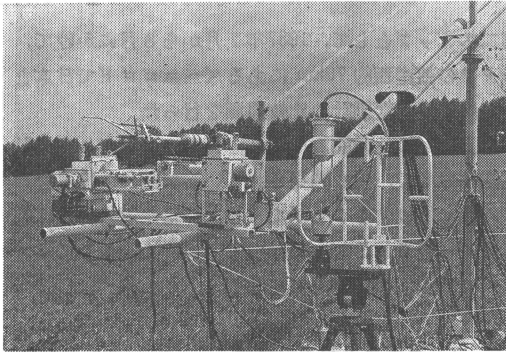


写真1 ズベニゴロド観測の風景. 右側が日本の炭酸ガス・水蒸気変動計と超音波風速計. 左側がソ連の炭酸ガス変動計, 水蒸気変動計と超音波風速計.

中いつも彼の力を借りていたように思う. 炭酸ガス変動計を開発し, 我々と一緒に観測をしたのは Dr. L.G. Elagina である. 彼女が開光路を有する水蒸気変動計を世界で最初に開発した (Elagina, 1962) ことを御存知の方も多いことと思います.

ズベニゴロドはモスクワから西南西に約 70 km 離れた小さな町である. ここにはソ連科学アカデミーの天文研究所があり, アストロソビエトと呼ばれていた. 観測はアストロソビエトの敷地内で行った. 観測圃場の大き

さは約 150×400 m<sup>2</sup> であり, 白樺や雑木で囲まれた小さな牧草畑であった. 観測場所は, 主風向に対して吹走距離が 200 m 位とれるところを選んだ. 吹走距離が十分とはいえなかったため, 測定機は地上 1.5 m に設置した. 写真1は日本とソ連の炭酸ガス変動計を並置した観測風景を示している.

ソ連の炭酸ガス変動計は, 炭酸ガス分子の 4.3 μm 吸収帯の赤外線吸収量からその濃度を測定するという測定原理に基づいており, 我々のものと同じ思想の測定機である (Elagina and Lazarev, 1984). 開光路部は 16 cm であり, その間を反射鏡を使って 4 回往復させている. 光路長は総計で 1.3 m であった. フッ化カルシウムの窓をもったタングステンランプから放射された赤外線は液体窒素で冷却されている InSb 素子で受光されていた. 日本とソ連の炭酸ガス変動計の性能をまとめると第1表に示すようになる. 参考のために, カナダと米国の炭酸ガス変動計の性能も表中に記入してある.

写真1からもわかるように, ソ連の炭酸ガス変動計と水蒸気変動計は全く同じ形をしている. また, 水蒸気変動計は20年前の論文で報告されたものと同じである. 性能の改善, モデルチェンジが早い日本の炭酸ガス変動計を見慣れていたので, ソ連の炭酸ガス変動計は実験室用の試作機の域を出ていないように思えた. ソ連では個人の営業活動が許されていないので, 先駆的な機器を作っても, そのままになってしまうことがあるのだろう

か、ソ連の炭酸ガス変動計と水蒸気変動計を見て考えてしまった。

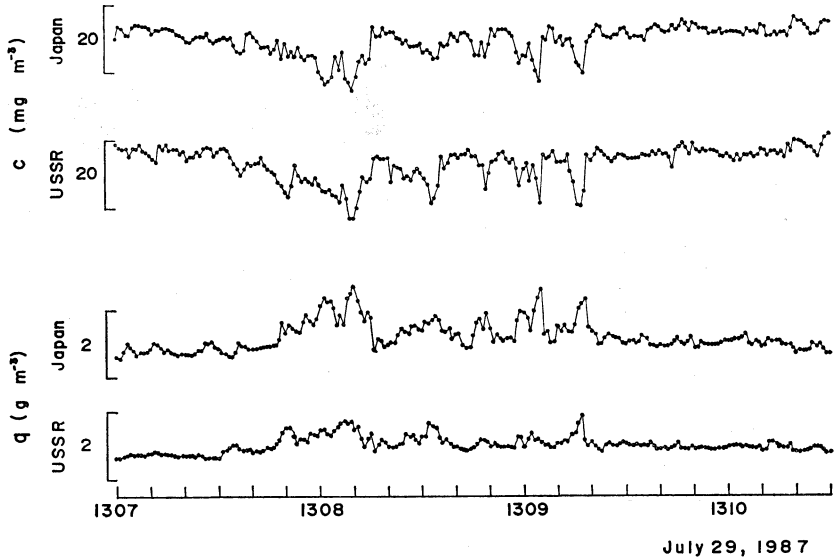
データ集録のためにキャラバンが2台用意されていた。1台はソ連チームのため、もう1台は我々のためであった。日本からは、昨年のウィニペグ観測で使用した測定機をもって行った。まず、測定機をキャラバン内に設置して、その動作をチェックした。日本からソ連への輸送時のトラブルはなかった。そこで、お互いの信号をパレル集録するために、キャラバンからキャラバンへとケーブルをはり、慎重に各々の信号をやりとりしてみた。どちらの測定機にも異常が認められなかった。うれしくなって紅茶で乾杯したのがいけなかったのか、我々の超音波風速計のY成分が突然ダウンし、最後まで回復しなかった。1987年1月に日本で行った観測のときにもプリアンプが故障して、w成分が測定不能になったことがあり、今回の故障の症状もそれとよく似ていた。プリアンプ部に異常が発生していることは予想できたがどうすることもできなかった。また、7月29日から30日にかけて、Elaginaさんと24時間の連続観測を行った。このときにも夜中に超音波風速計のw成分とt成分がダウンしてしまった。このときは圃場に霧がたちこめるといふ悪い測定条件ではあったが、たび重なる故障で日本製の超音波風速計にもっていた全幅の信頼がすっかり揺らいでしまった。しかし、いろいろなトラブルがあったけれども、炭酸ガス変動計の性能を比較するのに十分なデータを集録できたことは幸運であった。

ズベニゴロド観測の雰囲気をお伝えする意味で、私達の一日の生活を簡単に紹介します。私達はモスクワの中心部にある科学アカデミーホテルに泊まっていた。このホテルは科学アカデミー幹部会に属していて、日本の共済組合の宿泊所にあたるものである。9時30分頃、大気物理研究所の渉外係のAlla女史がホテルに迎えにくてくれる。彼女の英語は実に見事で、その上非常に美人であった。ホテル前に駐車している車の中から、研究所が借上げているタクシーを見つけ、ズベニゴロドへ出発する。車はポンコツですが、ものすごいスピードで走ります。前の車が道を譲らないときには、その車の後にピタリつけて気ぜわしくヘッドライトの点滅を繰り返します。100 km/h以上のスピードでもつれるように走るドライブを1時間余り楽しむとズベニゴロドの観測地に到着する。Elaginaさん達はすでに観測準備を終えていて私達の到着を待っている。大急ぎで測定機をセットし、動作をチェックすると、比較観測の開始です。17分また

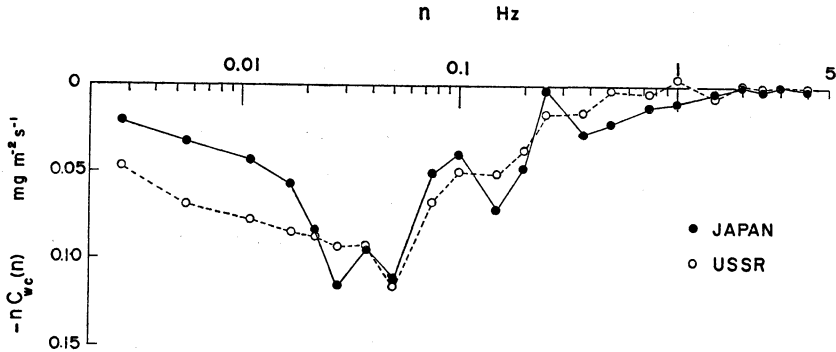


写真2 ズベニゴロド観測に最後まで参加した人々。左からボボ、エラギナ、ターニャ、サーシャ、塚本の各氏

は34分のRUNを2回程終えたとお茶の時間となる。工作機を記録紙でカバーするとテーブルに早替わりします。手作りのクッキーやクラッカー、数種類のジャム、紅茶、コーヒー等をテーブルの上狭しと並べてのティーブレイクです。Elaginaさんチームには、炭酸ガス変動計、超音波風速計、電子計算機を保守する技官の人がそれぞれ1人ずつついている上に、野外の測定機を夜間警備するために大気物理研究所から若手の技官が2~3名応援にきていたので、多いときには10名くらいのにぎやかなティーパーティーとなった。このようなティーブレイクは大気物理研究所のOboukhovさんやレニングラードの海洋研究所のChalikovさんのところでも同じであった。クッキーやケーキをつまみ、きれいなカップでロシアティーを飲みながら歓談する楽しい雰囲気にもソ連の文化の香りが感じられた。これに比べて、昨年のウィニペグ観測でのティーブレイクは仕事をしながらお茶を飲み、お茶を楽しむ雰囲気が少なかった。お茶のあとは再び観測です。Elaginaさんの指揮のもとに技官の人が自分の持ち場の測定機をあわただしくチェックします。異常がなければ観測開始です。14時になると昼食。朝乗ってきたタクシーで観測場から10 km離れたところにある科学アカデミーの保養所の食堂に行きます。Elaginaさん、大気物理研究所の若手研究員と私達2人の4人分の食事がいつも予約されていた。ソ連では、昼間は労働をするということで一日のうちでも昼食が一番重たい食事だそうです。いつも、前菜、スープ、メインディッシュ、デザートというフルコースであった。食後も直ちに観測です。一時間程で観測が一段落すると再びティーブレイク。そして18時になると、待たせてあったタクシー



第1図 日本とソ連の炭酸ガス濃度変動のモニター記録. 参考のために, 水蒸気濃度変動のモニター記録も図示している.



第2図 炭酸ガス濃度と風速の鉛直成分のコスペクトル.

で科学アカデミーホテルへの帰途につきます. これで一日が終わりです. 朝夕の恐怖のタクシーに乗りたくなかったので, 通勤(?) 時間もったいないので, 昼食をとっている保養所に移りたいが如何? と Volkov さんにたずねてみました. すると, 今の季節は休暇シーズンのため満員だという返事. 残念ながら私達の希望はかなわなかった.

ソ連では, 私達はいいい面ばかりを見ていたような気がする. 共同観測に参加している人達がどのような生活をしているのかは見えなかったが, 少なくとも物質的に恵

まれているようには思えなかった. 彼らを見ていると, 一昔前乏しい物資の中で頑張っていた私達の姿がそこにあるように感じられた. 写真2は野外観測を一緒にやりぬいた人を示している. 彼らの頑張りが報われることを心から祈っている.

### 3. 比較観測の解析例

第1図は日本とソ連の炭酸ガス変動計の信号のモニター記録を示している. プロットした各点は, 10 Hz でサンプルしたデータの1秒間の平均値である. 参考のため

に、水蒸気変動計の信号も図中に記入してある。モニター記録を注意してみると、変化の位相が少し異なっていたり、振幅が異なっている個所もある。しかし、モニター記録は、日本とソ連の炭酸ガス変動計の各信号が基本的には非常によく似ていることを示している。これは両測定機の感度を同じ標準炭酸ガスで検定して決めたことによるものだろう。

水蒸気の変動記録も基本的には相互によく似た変化を示しているが、振幅の相違が著しい。我々は常時、熱電対乾湿球の温度を測定し、その信号を使って水蒸気変動計の感度を決めている。Elagina さんは今回の観測期間中一度も彼女の水蒸気変動計の感度をチェックしなかった。彼女の水蒸気変動計の感度が変化していたのだろうと思うが、水蒸気変動の解析結果は別の機会に報告される予定なので、ここでは触れない。

第2図はモニター記録で示した期間を含む7月29日13時07分から13時24分までの17分間のデータを使って算出した風速の鉛直成分 ( $w$ ) と炭酸ガス濃度 ( $c$ ) の  $wc$ -コスペクトル  $nC_{wc}$  ( $n$ ) ( $\text{mgm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) を示している。横軸は周波数  $n$  (Hz) である。日本の場合に比べて、ソ連の  $wc$ -コスペクトルは (1) 0.5 Hz より高周波側で急速に低下していること、(2) 0.02 Hz より低周波側で大きな成分を有していることが注目される。ここでは示さなかったけれども、パワースペクトルの結果はソ連の炭酸ガス濃度変動が、大きな時定数のフィルターによって高周波成分が平滑されており、風速の鉛直成分はドリフトが大きく、低周波側で大きなエネルギーを有していることを示していた。このような炭酸ガス変動計と超音波風速計の応答特性を反映して、上で述べたような性質の  $wc$ -コスペクトルになったのだろうと思う。幸運にも、上述の2つの影響は、炭酸ガスフラックスへの寄与をお互いに打ち消す向きに働いているので、結果として、日本とソ連の炭酸ガスフラックスの値は $\pm 20\%$ 以内で一致しているようになっていた。

詳しい性能比較の結果は昨年ウィニペグ観測結果と併せて別の機会に報告する予定である。

#### 4. おわりに

ズベニゴロド観測をもって日本学術振興会国際共同研究費の援助によって実施された「大気中の炭酸ガス濃度変動の国際比較観測」の研究はその大半が終了した。また、前年度に実施したカナダのウィニペグ観測と本年度のズベニゴロド観測の詳細な解析も終了して、現在では各研究チームの最終的な意見をまとめる段階に至っている。

今回の一連の観測によって、炭酸ガス変動計を開発している方々に直接会うことができ、お互いが抱えている問題点を話し合えたことは私達にとって大きな刺激であった。この刺激をバネにして、大気の流れ場を乱さない、全天候型の炭酸ガス変動計の完成をめざして今後も努力していきたい。

本研究の遂行に当たって協力していただいた Dr. A. Oboukhov 所長をはじめとするソ連科学アカデミー大気物理研究所の方々に感謝すると共に、日本国内において当初から御協力いただいている花房龍男、藤谷徳之助両氏に感謝します。また、日本学術振興会研究協力課の村尾康課長と中里千鶴子様の後尽力がなければ本研究は不可能であった。心から感謝します。

#### 文 献

- Anderson, D.E., S.B. Verma and N.J. Rosenberg, 1984: Eddy correlation measurements of  $\text{CO}_2$ , latent heat and sensible heat fluxes over a crop surface, *Boundary-Layer Meteorol.* **29**, 263-272.
- Brach, E.J., Desjardins, R.L. and G.T. StAmour, 1981: Open path  $\text{CO}_2$  analyzer, *J. Phys. E.: Sci. Instrum.*, **14**, 1415-1419.
- Elagina, L.G. 1962: Optical device for measuring the turbulent pulsions of humidity, *Izvestiya Geophys. Ser.* **1100**-1107.
- , —, and A.I. Lazarev, 1984: Measurements of the frequency spectra of turbulent  $\text{CO}_2$  fluctuations in the atmospheric surface layer, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, **20**, 502-506.
- 光田 寧, 文字信貴, 佐橋 謙, 塚本 修, 米谷俊彦, 松井哲司, 大滝英治, 1986: 大気中の炭酸ガス濃度変動の国際比較観測, *天気*, **33**, 625-631.
- Ohtaki, E. and T. Matsui, 1982: Infrared device for simultaneous measurement of fluctuations of atmospheric carbon dioxide and water vapor, *Boundary-Layer Meteorol.* **24**, 109-119.