

全球気候観測システム基準高層観測網

第2回実施調整会議 (GRUAN ICM-2) 出席報告*

水野 量*¹・中村 雅道*²

1. はじめに

気候変動の予測・評価には、地表付近だけでなく高層大気の地球全体にわたる高品質・長期観測データが不可欠である。1990年の第2回世界気候会議で気候のための観測システムの確立が提言されたことを受けて、1992年にGCOS (全球気候観測システム) が発足した。GCOSのスポンサーは、WMO (世界気象機関)、UNEP (国連環境計画)、IOC/UNESCO ((ユネスコ) 政府間海洋学委員会)、ICSU (国際科学会議) の4機関である。一方、ほぼ同時期に締結された気候変動に関する国際連合枠組条約 (UNFCCC) では、温室効果ガスの削減だけでなく、気候変動に関する研究と組織的観測についても定めている。その組織的観測を担うのがGCOSであり、両者は密接な関係がある。GCOSはこれまで、気候のための地上観測システム (GSN)、高層観測システム (GUAN) を構築してきた。UNFCCCからの要請を受けて2004年に策定されたGCOS実施計画において、長期にわたる気候変動監視のための基準となる高精度の高層気象観測データの取得などを目的とした観測網の確立が課題とされた。それを受けて、現在GCOS基準高層観測網 (GRUAN; GCOS Reference Upper Air Network) の構築が進められている。なお、GCOSの体制は、科学と業務の専門家からなる運営委員会 (Steering Committee) の下に、気候のための大気・海洋・陸面の観測に関する3つの科学パネル

(AOPC, OOPC, TOPC) が設置されている。事務局はWMO本部に置かれている。加盟国はGCOSナショナルコーディネーターを指名して、各国内のGCOSの活動を取りまとめることになっている。なお、日本におけるGCOSナショナルコーディネーターは、気象庁地球環境・海洋部の地球環境観測ネットワーク企画調整官が担っている。

GRUAN設立に向けて、これまでに以下の動きがある。

- ① リンデンベルグ (Lindenberg) 観測所 (ドイツ) をGRUANリードセンター (以下リードセンター) に指定 (2008年2月)
- ② 「基準観測」の主要要件を定義 (2008年10月)
- ③ 第1回実施調整会議 (ICM-1) を米国オクラホマ州 Norman で開催 (2009年3月)
- ④ 「GRUAN実施計画 (GCOS-134)」(GCOS 2009) を発行 (2009年7月)

なお、「GRUAN実施計画」には、2009年から2013年

第1表 GRUAN 観測所 (2010年3月現在)。

地点	場所		
	緯度	経度	高さ
Barrow, AK, USA	71.32°	-156.61°	8 m
Beltsville, MD, USA	39.04°	-76.92°	41 m
Boulder, CO, USA	40.10°	-105.20°	1655 m
Cabauw, Netherlands	51.97°	4.92°	1 m
Darwin, Australia	-12.43°	130.89°	30 m
Lamont, OK, USA	36.60°	-97.49°	318 m
Lauder, New Zealand	-45.05°	169.68°	350 m
Lindenberg, Germany	52.18°	14.06°	112 m
Manus, Papua New	-2.06°	147.46°	4 m
Nauru, Nauru	-0.52°	166.92°	26 m
Payerne, Switzerland	46.82°	6.93°	465 m
Potenza, Italy	40.83°	14.17°	819 m
Sodankylä, Finland	67.37°	26.60°	180 m
Tateno, Japan	36.03°	140.08°	25 m
Xilin Hot, China	43.95°	116.12°	986 m

* Report on the 2nd GRUAN Implementation-Coordination Meeting (GRUAN ICM-2).

*¹ Hakaru MIZUNO, 気象庁観測部 (現 釧路地方気象台)。

*² Masamichi NAKAMURA, 気象庁地球環境・海洋部。

において GRUAN 実施のために解決すべき各種事項が記述されている。2010年3月現在、第1表の15地点が GRUAN 観測所となっている。また、GRUAN の組織等の詳細については、藤原 (2011) を参照された。

気象庁は、2009年9月に館野 (高層気象台) を GRUAN 観測所に登録して GRUAN 構築に参加し、2010年3月にスイスで開催された第2回実施調整会議 (ICM-2) に筆者2名が出席した。ICM-2の目的は、GRUAN 関係者が一堂に会して進捗と課題をレビューし、「GRUAN 実施計画2009-2013」に沿って専門的かつ広範な課題についての年間作業計画を討議・決定することであった。なお、この会議の報告は「GCOS 報告」シリーズの“GCOS-140” (GCOS 2010) としてまとめられており、会議資料と発表資料は GRUAN の web site (<http://www.gruan.org>) (2011年1月10日閲覧) に掲載されている。

本稿の目的は、新しい基準高層観測網の構築に向けて開催された GRUAN ICM-2の内容と、会場となったスイス気象局 (MeteoSwiss) のペイエレン (Payerne) 高層観測所の施設を紹介することである。

2. 会議概要

2.1 プログラム

会議は、2010年3月2日 (火) ~ 4日 (木) にスイス・ペイエレン高層観測所で開催された。スイス気象局の G. Müller 次長による挨拶の後、以下に示す項目について発表と議論が行われた。気象庁からは、セッション7で館野における観測概要とラジオゾンデ切り替えに伴う比較観測について発表した。

- セッション1 ICM-1以降の進展報告
- セッション2 GRUAN に関係する各種国際プログラム
- セッション3 基準観測の詳細
- セッション4 科学的課題 (同一地点問題, 観測変更管理, 補足的観測の価値の定量化など)
- セッション5 地点考察と観測網構成
- セッション6 観測網計画とマニュアル
- セッション7 サイトレポート
- セッション8 データ配布
- セッション9 マネジメント課題 (タスクチーム)
- セッション10 協力関係 (GRUAN WIGOS パイロットプロジェクト, CIMO 国際比較, その他)
- セッション11 とりまとめ

2.2 参加者

この会議には、「気候のための大気観測パネル (AOPC)」の「大気基準観測作業部会 (WG-ARO)」 (以下、作業部会) 及びリードセンター、GRUAN 観測所代表 (第1表に示す15地点の所属機関から出席)、その他関係者を含めて約50名が参加した。

2.3 主要項目の概要

2.3.1 第1回実施調整会議 (ICM-1) 以降の進展報告

最初に、Peter Thorne 作業部会長が「GRUAN 実施計画」と会議の構成について以下の説明をした。

- ① 「GRUAN 実施計画」は今後4年間のロードマップであり、作業部会・リードセンター・各地点による持続的な努力により進むべき道の一貫したビジョンを提供するものである。
- ② 「GRUAN 実施計画」の構成に従って本会議を構成する。

2009年の会議との違いは、一貫性を期待して一日同じ議長で会議を進めること、各地点からの報告により多くの時間をとっていること、などである。

次に、リードセンターの Holger Vömel 所長が、GRUAN を成功させるものは「長期間の参加」、「細部まで注意を払うこと」、「生起する重要課題に集中すること」であることを強調し、ICM-1以降の活動を以下のとおり報告した。

- ① リードセンターでは、「基準観測」の全体の不確かさを「測定標準の不確かさ」「校正の不確かさ」「入力データ・定数・モデルの不確かさ」「推定アルゴリズム」から評価し、具体的にバイサラ (Vaisala) 社製 RS92ゾンデデータのトレーサビリティを確保するための処理手順を検討した。ここで、トレーサビリティとは「国際計量基本用語集 (日本語版)」によると、「不確かさがすべて表記された、切れ目のない比較の連鎖を通じて、通常は国家標準又は国際標準である決められた標準に関連づけられ得る測定結果又は標準の値の性質」と説明されている (今井 1996)。これらの「基準観測」の不確かさの詳細は、論文 (Immler *et al.* 2010) として報告されている。なお、RS92ゾンデは WMO の相互比較観測に参加し、高品質ラジオゾンデの一つとされており、GRUAN15観測所中の11観測所で使われている。
- ② リードセンターと米国の NOAA NCDC 及び

ARM間で「GRUAN データフロー」に関する会議を開催し、RS92ゾンデと水蒸気観測用のCFHゾンデ (Vömel *et al.* 2007) のデータ収集、アーカイブと配布の方法を検討した。

- ③ リードセンターでは、2010年7月に実施されるWMO CIMO ラジオゾンデ相互比較観測においてGRUANのために開発されている基準ゾンデも加わった観測を準備している。
- ④ リードセンターでは、GRUAN コミュニティのためのコミュニケーションプラットフォームとして、GRUAN web site (<http://www.gruan.org>) に加えてGRUAN blog (<http://gruan.wordpress.com/>) を開設した。

2.3.2 科学的課題 (同一地点問題, 観測変更管理, 補足的観測の価値の定量化など)

GRUANの解析チーム (GATNDOR ; GRUAN Analysis Team for Network Design and Operations Research) が、以下の5つのトピックを解析していることを報告した。どれもが解析検討中の報告であり、今後も検討結果に注目していく必要がある。

トピック1：同一地点問題 (近隣観測所を観測データの許容できる範囲内で同一観測所として扱うこと)

トピック2：観測変更の管理

トピック3：観測スケジュール計画

トピック4：付加的観測の価値の定量化

トピック5：ネットワーク構成

トピック2の「観測変更の管理」に関して、観測網にとって観測方法の変更は避けられないものであり、詳細な変化の記述・変化の影響評価・影響の最小化のため、リードセンターであるリンデンベルグ観測所のラジオゾンデデータを用いた解析が報告された。主な結論は以下のとおりである。

- ① ハードウェアとソフトウェアの変更履歴に関する詳細なメタデータは非常に有効であることが立証された。
- ② 定期的な連結飛揚ゾンデデータは、ルーチン観測の性能を評価するための独立した情報を提供する。
- ③ 連結飛揚ゾンデの湿度のデータの比較から、差に大きな変動幅があるという課題が提起された。

トピック5の「ネットワーク構成」に関して、20年間のNDACC (大気組成変化検出のためのネットワーク) プログラムの経験から、GRUANのネット

ワーク構成について以下の提言がされた。

- ① 高品質のネットワークの確立に重点を置く。
- ② 測器に特化した作業グループの見解を優先する。
- ③ サイト選択に際し、政治的圧力に妥協すること避ける。
- ④ 組織的な柔軟性を保つ。
- ⑤ NDACCと協力・協調する。

2.3.3 地点考察と観測網構成

地点の展開・評価・認証に関して、GRUAN地点の評価と認証の概念が同意され、観測網の展開方法がタスクチームによって計画される。「GRUAN実施計画」には以下のステップが記述されている。

- ① 2011年までに評価基準を明確化
- ② 2012年までに優先的な地点展開を作成
- ③ 2013年までに地点評価を実施するための業務的な能力を開発
- ④ 公式参加を引き出すための会議の実施

いずれのステップにおいてもGRUAN観測所を選定する場合に、評価項目に透明性・客観性が、観測所選択に公募性が、それぞれ必要であることを作業部会長が強調した。

観測所の評価基準として、以下の事項が考えられている。

① GRUAN 観測網計画と要請に対する支持

全体で30~40地点からなるGRUAN観測網の計画と長期間の参加要請に対して、観測所は支持できること。

② データ品質

測定データに対して適用されている校正方法と考慮された不確かさ、考慮されなかった不確かさを解析し、データ品質に観測所は責任をもつこと。

③ 業務用の標準

観測所は、ローカルに確立された業務手順を控えて、リードセンターによって示される標準的な業務手順を守ること。

④ メタデータの完全性

観測所は、すべての測定システムに関する詳細なメタデータをGRUANデータアーカイブに入れるため、定期的にリードセンターへ送付することを確実に実施する手順を持つこと。

⑤ トレーサビリティ

すべての測定が、基礎となる標準と校正に対して十分に記述された方法で関連付けられること。

⑥ 変更履歴の管理

測器の変更や業務手順の変更、データ処理アルゴリズムの変更、観測者の変更が避けられないため、十分なメタデータで変更前後を関連付けること。

⑦ 観測頻度

気温、水蒸気、気圧の3つの必須気候観測要素が、優先度1のGRUAN観測として確認されている。現時点で利用可能な最高技術を用いたラジオゾンデ観測を週1回行うこと、及び上部対流圏と下部成層圏における水蒸気と全高度におけるその他の優先度1の要素を現時点で利用可能な最高技術で観測するラジオゾンデと週1回のラジオゾンデとを連結して飛揚することが、最初の必要条件である。

⑧ 長期間観測に対する参加と財源

GRUANは気候監視の観測網であるため、観測所は必須気候観測要素の数十年間の観測に参加する準備があること。

また、観測所選択の基準として、以下の事項が考えられている。

① 重要な位置 (気候区分、観測が十分でない地域など)

GRUANはラジオゾンデ観測を実施している全世界167箇所のGRUAN観測に対する基準観測所であるため、意味のある比較を行うため各GRUAN観測所はGRUAN観測所に十分に近いくことが重要である。

② 科学的評価：安定性、現在の能力など

候補観測所からの文書とリードセンターの推薦を受けて、「観測所の評価、拡大、認証」作業チームが前述の観測所の評価基準①～⑧に基づき、長期間にわたるGRUAN観測の安定性や現在の能力を客観的に評価し、候補観測所がGRUAN観測所として認証されるかどうかの最終的な決定を行う。

③ 財源評価

候補観測所は長期間の観測を維持するための予算の合理的な予想を示す必要がある。一方、GRUAN事務局は、GRUANへ参加しようとする観測所のため、ローカルな財政当局に対して長期間の申請を支援する必要がある。

詳細については、今後のタスクチームからの報告と実施調整会議における議論によって決定されるものと思われる。

2.3.4 各観測所からの報告 (サイトレポート)

最初に、リードセンターがとりまとめたGRUAN地点目録が報告された。

① 2010年3月現在、15地点 (第1表) がGRUAN

観測所である。

② 15地点中の11地点が、少なくとも1日2回 (2地点は1日4回) の頻度でラジオゾンデ観測を実施している。

③ 15地点中の11地点がバイサラRS92ゾンデを使用している。

④ 以下のさまざまなリモートセンシング観測装置が各地点に整備されている。

- ・気柱水蒸気量算出用GPS受信機 (14地点)
- ・マイクロ波放射計 (9地点)
- ・シーロメータ (9地点)
- ・雲レーダー (8地点)
- ・FTIR (7地点)
- ・ラマンライダー (6地点)

以上のGRUAN地点目録から、高層気象台は標準的なラジオゾンデ観測 (1日2回の観測、RS92ゾンデを使用) を実施していること、及び各地点ではさまざまなリモートセンシング観測装置が整備されていること、が分かる。

次に、各地点からサイトレポートが報告された。気象庁からは、館野における観測概要とラジオゾンデ切り替え (Meisei RS2-91ゾンデからバイサラRS92ゾンデ) に伴う比較観測について発表した。館野のサイトレポートに対してPeter Thorne作業部会長から、ゾンデ切り替えに伴って比較観測を実施して補正をした気温の経年変化のトレンドの検出結果を報告したもの (上里ほか2008) が、GRUAN基準ゾンデによる気温・水蒸気の経年変化検出の参考になるとのコメントがあった。ラジオゾンデ切り替えに伴う比較観測の報告は、科学的課題「観測変更の管理」において重要であり、比較観測の実施・解析方法の検討に貢献できたと思われる。

2.3.5 データ配布

リードセンターから、RS92ゾンデとCFHゾンデ (水蒸気観測用ゾンデ) のデータを以下の手順で収集・アーカイブする計画が提案された。

① 各地点からリードセンターへftpで送付。

② リードセンターでチェックをし、NetCDFへ変換してARMへ送り、アーカイブのための処理をする。

③ ARMからリードセンターへ送り、リードセンターでuncertainty (観測の不確かさ) を付加してデータ配信を行うNCDCへ送る。

また、以下の2010年のスケジュールも示された。

- ① 4月 “Data Collecting Guide” (Version 0.9) を全地点へ送付
 - ② リードセンターへのデータ送信と前処理のテスト
 - ③ 5月/6月 オペレーショナルデータの収集開始
 - ④ 8月 オペレーショナルデータの自動処理開始
- この提案について、メタデータの具体的な形式についてGRUANコミュニティでレビューをしてほしいとのコメントがあった。2010年10月8日現在、館野からRS92ゾンデデータをリードセンターに送付するためのプログラムの確認を行っている。

2.3.6 マネジメント課題 (タスクチーム)

以下の5つのタスクチームが組織され、それぞれのワークプランが議論により決まった。各タスクチームの委員長は、作業部会のメンバーである。

- タスクチーム1：ラジオゾンデ
- タスクチーム2：地上設置型GPS受信機
- タスクチーム3：観測スケジュールと関連する測器の要件
- タスクチーム4：地点の評価・拡大・認証
- タスクチーム5：補完的観測

また、各地点の統一した意見を取りまとめるタスクチームも組織され、Howard Univ. (米国) の Belay Demoz 氏と NOAA ESRL (米国) の Dale Hurst 氏が共同委員長になった。なお、2010年6月にタスクチーム2のメンバーとして、気象研究所の小司禎教主任研究官が参加している。

3. ペリエルン観測所

会議の第2日(3月3日)午後、会議が開催され



第1図 気球充填庫とゾンデ信号受信アンテナ。

たスイス気象局ペリエルン高層観測所の施設見学があった。ペリエルン高層観測所は、スイス唯一のラジオゾンデ観測所で職員数約50名であるが、地上気象観測 (SwissMetNet)、各種リモートセンシング測器 (水蒸気ラマンライダー、ウィンドプロファイラ、マイクロ波放射計、GPS受信機) を用いた観測、日射放射観測を実施している。

第1図から第4図に、代表的な観測施設の写真を示す。第1図はラジオゾンデ観測のための気球充填庫であり、気球充填庫の上にゾンデ信号受信アンテナがある。第2図は地上設置型GPS受信機であり、水蒸気ラマンライダーと移動用観測車が置かれている建物の屋根に設置されていた。第3図は1.3GHz帯のウィンドプロファイラであり、ウィンドプロファイラデータの高度-時間断面表示の中にラジオゾンデデータが



第2図 地上設置型GPS受信機 (可降水量)。



第3図 ウィンドプロファイラ。Degreane Horizon 製 PCL-1300ウィンドプロファイラ、使用周波数：1290 MHz、観測高度：75-8500 m。



第4図 マイクロ波放射計。左：RPG社製 HATPRO，右：RPG社製 TEMPRO。

一緒に表示されていた。第4図は、気温と水蒸気の高層分布が観測できるマイクロ波放射計である。少人数の観測所であるが、最新の観測技術の導入を積極的に進めている。

スイス気象局 Müller 次長が会議冒頭の挨拶の中で、Payerne 観測所はスイス気象局の技術的なホットスポット、センターであると紹介したとおり、ペイエレン観測所ではラマンライダーやマイクロ波放射計など最新のリモートセンシングの導入を図っている。気象庁の機関に例えると、高層気象台、気象測器検定試験センター、気象研究所の観測システム関係の研究部が一緒になった技術官署という印象である。ラジオゾンデは、スイス製の SRS-400 を 1990 年から使ってきたが、2011 年から同じくスイス製の SRS-C34 という GPS ゾンデに移行し、バイサラ社の RS92 と週 1 回比較観測を予定しているとのことだった。観測所の周辺は草場が広がっており、高層気象観測や地上気象観測に適した観測環境である。

4. おわりに

GRUAN 第 2 回実施調整会議では、2014 年からの GRUAN 観測開始に向けて幅広くかつ専門的な事項について発表・議論された。会議でバイサラ RS92 ゾンデと CFH ゾンデ (水蒸気観測用ゾンデ) のデータを収集・アーカイブする計画が提案されたが、2010 年 10 月現在、館野からリードセンターへ RS92 ゾンデデータを送付する確認試験を実施しているところである。その他の事項については各タスクチームで作業を実施し、2011 年 3 月に開催される第 3 回実施調整会議

(ICM-3) で検討結果が報告される予定である。また、2010 年 7 月の WMO CIMO ラジオゾンデ比較観測に参加した「基準ゾンデ」による観測結果も報告される。気象庁として、これらの報告に留意して長期的に GRUAN に参加していく必要がある。

謝 辞

今回の出張に当たり、サイトレポート・発表資料の作成、各種の手続き等で多くの方のお世話になりました。また、実り多い会議として成功させた Meteo-Swiss Payerne 高層観測所の皆様にお礼申し上げます。本稿に対するコメントをいただいた、北大の藤原正智准教授、気象研究所の大野木和敏室長、小司禎教主任研究官、気象庁観測部の山本 哲観測技術開発推進官に感謝致します。

略語一覧

- AOPC : Atmospheric Observation Panel for Climate
気候のための大気観測パネル
- ARM : Atmospheric Radiation Measurement 大気放射観測計画
- CFH : Cryogenic Frostpoint Hygrometer
- CIMO : Commission for Instruments and Methods of Observation 測器観測法委員会
- FTIR : Fourier Transform Infrared Spectroscopy
フーリエ変換赤外分光光度計
- GCOS : Global Climate Observing System 全球気候観測システム
- GPS : Global Positioning System 全地球測位システム
- GRUAN : GCOS Reference Upper-Air Network
GCOS 基準高層観測網
- GSN : GCOS Surface Network GCOS 地上観測網
- GUAN : GCOS Upper-Air Network GCOS 高層観測網
- ICM : Implementation and Coordination Meeting 実施調整会議
- ICSU : International Council for Science 国際科学会議
- IOC : Intergovernmental Oceanographic Commission
(ユネスコ) 政府間海洋学委員会
- NCDC : NOAA's National Climatic Data Center 米国気候データセンター
- NDACC : Network for the Detection of Atmospheric Composition Change 大気組成変化検出のためのネットワーク
- NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁
- OOPC : Ocean Observations Panel for Climate
- TOPC : Terrestrial Observation Panel for Climate

UNEP : United Nations Environment Programme 国連環境計画
 UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 国連教育科学文化機関
 UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change 気候変動に関する国際連合枠組条約
 WG-ARO : Working Group on Atmospheric Reference Observations 大気基準観測作業部会
 WIGOS : WMO Integrated Global Observing Systems WMO 統合全球観測システム
 WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関

参考文献

藤原正智, 2011 : 気候監視のための新しい高層気象観測ネットワーク GRUAN. 天気, **58**, 679-695.
 GCOS (Global Climate Observing System), 2009 : GRUAN Implementation Plan 2009-2013. <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-134.pdf> (2010.10.11閲覧).

GCOS (Global Climate Observing System), 2010 : Report of the Second GCOS Reference Upper Air Network Implementation and Coordination Meeting (GRUAN ICM-2). <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-140.pdf> (2010.10.11閲覧).
 今井秀孝, 1996 : 計測における不確かさの表現のガイド. 日本規格協会, 272pp.
 Immler, F. J., J. Dykema, T. Gardiner, D. N. Whiteman, P. W. Thorne and H. Vömel, 2010 : Reference quality upper-air measurements : Guidance for developing GRUAN data products. Atmos. Meas. Tech., **3**, 1217-1231.
 上里 至, 伊藤智志, 熊本真理子, 茂林良道, 中村雅道, 2008 : ラジオゾンデの歴史的変遷を考慮した気温トレンド (第1報). 高層気象台彙報, **68**, 15-22.
 Vömel, H., D. E. David and K. Smith, 2007 : Accuracy of tropospheric and stratospheric water vapor measurements by the cryogenic frost point hygrometer : Instrumental details and observations. J. Geophys. Res., **112**, D08305, doi : 10.1029/2006JD007224.