

6. GCOS 基準高層観測網(GRUAN)

(1) GCOS 高層観測網(GUAN)の構築

平成 2(1990)年に WMO が主催した第 2 回世界気候会議(SWCC)において、大気・雪氷・生物圏等気候系全体に及ぶ総合的な観測網が提唱されたことをうけ、平成 4(1992)年に気候変動の監視や影響評価等の実施に必要な総合的な観測を実現するための国際的なネットワークである全球気候観測システム(GCOS)が、WMO、UNEP(国連環境計画)、IOC/UNESCO(政府間海洋学委員会/国連教育科学文化機関)、ICSU(国際科学会議)の 4 機関をスポンサーとして発足した。GCOS の体制においては、科学と業務の専門家からなる運営委員会の下に、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)が設置されていて、それぞれの分野における観測の維持、調整、改善に関する計画を定期的に策定している。また、GCOS は観測ネットワークとして、大気分野では GCOS 地上観測網(GSN)や GCOS 高層観測網(GUAN)を構築してきた。

平成 7(1995)年に気象庁で開催された AOPC は、GUAN の観測所として、世界で約 150 か所の高層気象観測所を選定した。日本からは、札幌、館野、鹿児島、沖縄(のちに石垣島に変更)、父島、南鳥島、及び南極昭和基地の 7 か所が選定された。令和 2(2020)年における GUAN 観測所の配置図を図 3.6.1 に示す。

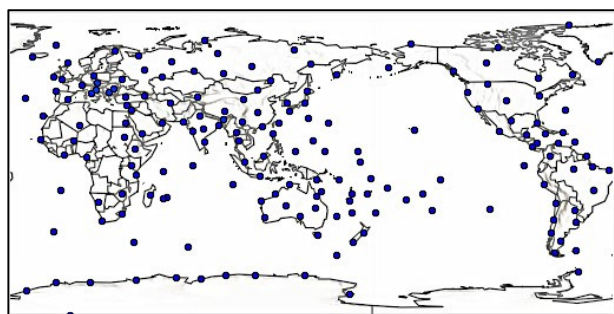


図 3.6.1 GUAN 観測所の配置図(2020 年)(GCOS(2020)から引用)

さらに、平成 10(1998)年の WMO 基礎組織委員会(CBS)臨時会合における採択をうけて、全球監視システム(GOS)マニュアルに GUAN 観測所に対する最善実施要件 7 項目{(i) 観測所ごとの長期的な継続性の提供、(ii) 1 日に 2 回の GCOS の要求最高高度 5hPa を考慮したできる限り高高度の観測、(iii) 正確かつタイムリーな CLIMAT TEMP データの提供、(iv) 観測所における厳格な品質管理の実施、(v) 飛揚前点検の実施、(vi) データが取得できなかった場合の再観測の実施、(vii) 観測所のメタ情報の

提供}が盛り込まれた。この要件のうちの 6 項目については、我が国の高層気象観測において既に実施されていたが、加えて「GCOS の要求最高高度 5hPa を考慮したできる限り高高度までの観測」を実現させる必要があった。そこで平成 10(1998)年末、気球の大きさと到達高度の関係を調査するため、レーウィンゾンデによる試験観測を行い、平成 11(1999)年から、定常的な到達目標高度を従来の 10hPa から 5hPa とした高高度レーウィンゾンデ観測を毎 21 時に行うこととなった。当初 1000g 気球を用いたところ、若干到達高度が不足したため、翌年からは 1200g 気球を用いて観測した。

(2) GUAN から GRUAN へ

高層気象観測においては、ラジオゾンデやデータ処理方法の変更に伴う観測値の特性変化についての記述・検証が不十分であった。そのため 10 年に 0.1℃オーダーでの気温変化の検出が必要な気候データセットとしての一様性が十分に確保されておらず、長期にわたる観測値の変化傾向の検出が困難であること、対流圏上部・成層圏における水蒸気は気候変動やオゾン層変動に非常に重要な役割を果たしているものの、天気予報に悪影響を与えとは考えられておらず、技術的困難さもあって観測精度が低いことなどの問題がある。気候変動の監視の高度化や予測の不確実性の低減のためには、高層大気の気温や湿度などの気象要素および気候変動に伴って現れるそれらの変化を 3 次元的に精度良く監視することが必要であり、それに適う継続性や精度を持った観測システムを構築する必要がある。このため GCOS では、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、GUAN や衛星観測などの、より空間的に密な観測・監視システムへの校正データ提供などを目的として、GCOS 基準高層観測網(GRUAN)の構築を進めた。WMO としても平成 20(2008)年の第 60 回執行理事会において全構成員に対し GRUAN 実施支援が要請するなど、本計画を推進・奨励した。

平成 20(2008)年に、ドイツ気象局リンデンベルグ気象観測所がネットワークの調整、科学的・技術的指導、観測データの収集・提供・解析などを中心となって行う GRUAN リードセンターとなることが決定し、主として北米、欧州、豪州の 14 観測所(サイト)が初期候補サイトとして選定された。気象庁は、高層気象観測のみならず、地上・放射・オゾンなどの世界最高水準の観測を長期間実施してきた高層気象台を GRUAN サイトとして参加させ、国際的に求められている高精度な気候変動観測に貢献することとして、平成 21(2009)年に WMO に高層気象

気象庁からの参加
なし

なし
中村(*1) 水野(*2)
水野(*3) 木津(*2)
横田, 木津ほか(*3) 小司(*4) 気象庁がホスト
植田, 木津(*2)
木津(*2)
木津(*2)



課, (*3) 観測部計画課.
観測整備計画課.

地球觀測用經緯儀台座

と、GRUAN サイトに
気温、水蒸気が優先度

メタン、放射、エアロゾル、地表高度などが優先度が高い。二酸化炭素、雲に関する観測機器は、基準機器（高度計、高度計の同時飛揚を含む）、観測機器、GNSS/GPS

第2章 会議の履歴

気象庁からの参加	
なし	
中村(＊1)	
水野(＊2)	
水野(＊3)	
木津(＊2)	
横田, 木津ほか(＊3)	
小司(＊4)	
気象庁がホスト	
植田, 木津(＊2)	
木津(＊2)	
木津(＊2)	
木津(＊2)	
星野(＊1)	
岩渕(＊2)	
岩渕(＊2)	
星野(＊1)	
久光(＊5)	
岩渕, 星野, 神山(＊1)	

課, (*3) 観測部計画課,
観測整備計画課,

地球観測用経緯儀台座
した和文プレートの背
能登・小城：2012).

UAN サイトの一つで
開催が予定されていた
(COVID-19)の状況を鑑
みられた。

と、GRUAN サイトに
気温、水蒸気が優先度
メタン、放射、エー
底高度などが優先度
二酸化炭素、雲に関
須機器は、基準機器
器の同時飛揚を含む)、
観測機器、GNSS/GPS

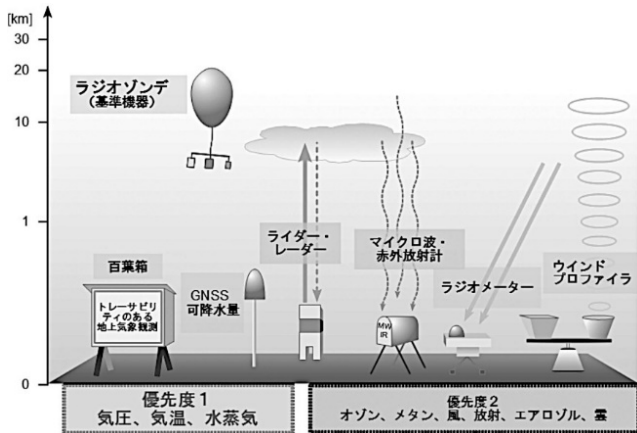


図 3.6.3 GRUAN サイトにおける必須機器、必須測定要素等を示した模式図(藤原(2011)から引用)

受信機(可降水量測定)である。さらに、測雲ライダー、マイクロ波放射計やウインドプロファイラなどのリモートセンシング機器があることが望ましいとされる。

GCOS-171(2013)等によると、GRUAN サイトでは、(i) 毎週 1 回の現業観測用ゾンデと高性能ゾンデとの比較観測の実施、(ii) 毎月 1 回の現業観測用ゾンデと水蒸気基準ゾンデの比較観測の実施、また、水蒸気基準ゾンデ以外に高精度に水蒸気を測定可能なゾンデの連結の実施、(iii) 毎日 2 回以上の GNSS 可降水量観測の実施、(iv) 毎日 2 回の現業観測用ゾンデ飛揚の実施、(v) 様々な種類のラジオゾンデを継続的に比較することが必須要件とされている。

高層気象台は、高層気象観測のみならず、地上・放射・オゾン等の世界最高水準の観測を長期間実施してきており、多くの要素で GRUAN の要件を満たすことができる(実際の観測項目については表 3.6.2 を参照のこと)。平成 21(2009)年に GRUAN サイトとして登録されたのち、同年の RS92-SGP の運用開始に合わせて GRUAN リードセンターへのデータ報告を開始した。平成 23(2011)年 6 月からは、高層気象台の現業観測データと観測メタデータとを合わせて、準リアルタイムに GRUAN リードセンターへ報告している。また、室内環境(ゾンデによっては湿度 0%RH)による 1 点で行っていた湿度の飛揚前点検について、湿度センサーは気温や湿度雰囲気に依存する特性を持つため広範囲な湿度環境による点検が必要であるとし、密閉された容器に実現された低湿度・高湿度環境下での点検手法の検討・試験を行った(古林ほか:2014)。平成 26(2014)年 7 月から、GPS ゾンデの湿度センサーについて、0%RH および 100%RH 環境を生成することができる SHC(Standard Humidity Chamber)を用いた改良型飛揚前点検(0-100%点検)を開始した。

表 3.6.2 GRUAN サイトに求められる優先度の高い観測要素と高層気象台での観測の有無

優先度	GRUAN観測要素	観測有無
1	地上気象要素(気圧, 気温, 湿度, 風)	あり
	異なる測定技術による気温, 水蒸気, 風の同時気球観測	あり
	気球観測の気圧とGPS/レーダー高度	あり
	気柱水蒸気量観測のための地上設置GPS受信機	あり
2	BSRNに現在採用されている地上放射測器	あり
	気温と水蒸気を観測するマイクロ波放射計	なし
	多波長赤外放射計(気温・湿度, 雲に関する量の観測)	なし
	ライダー(水蒸気と雲に関する別の情報を与える)	なし
	微量気体の統合的観測(オゾン)	あり
	サンフォトメータによるエアロゾル光学的厚さ	あり

注) 優先度 2 の観測要素については主要なもののみ掲載。

ゾンデ観測以外には、平成 21(2009)年 11 月に GRUAN 観測地点として必要な観測要件である GPS 可降水量(気柱水蒸気量)を観測するための GPS 気柱水蒸気量観測設備(図 3.6.4)の運用を開始した。また、平成 30(2018)年に高層気象台の観測データの GRUAN リードセンターへの報告を開始した。令和 2(2020)年 2 月からは、高層気象台の観測データを国土地理院(つくば市)の観測データに代えて報告している。このほか、GPS 気柱水蒸気量観測設備による GPS 可降水量とゾンデによる可降水量や国土地理院が運用している GNSS 連続観測システム(GEONET)地点の観測結果との比較を行い、ICM-11 など で発表した。



図 3.6.4 GPS 気柱水蒸気量観測設備

平成 21(2009)年 12 月に、GPS ゾンデの高分解能データの特性や精度を把握して観測データ処理に最適なパラメータ等を明らかにするために、リモートセンシングにより下層風の鉛直プロファイルを観測する測風ライダー(図 3.6.5)の運用を開始した。これによる下層風の鉛直プロファイルの観測結果とゾンデ等による観測結果との比較検証(高層気象台：2011)(岩渕：2012)や係留気球における風観測データの精度検証、乱流検出の事例解析等(岩渕ほか：2013)(星野ほか：2014)に利用した。平成 29(2017)年の障害以降観測を停止して、令和 2(2020)年 1 月に運用を終了した。

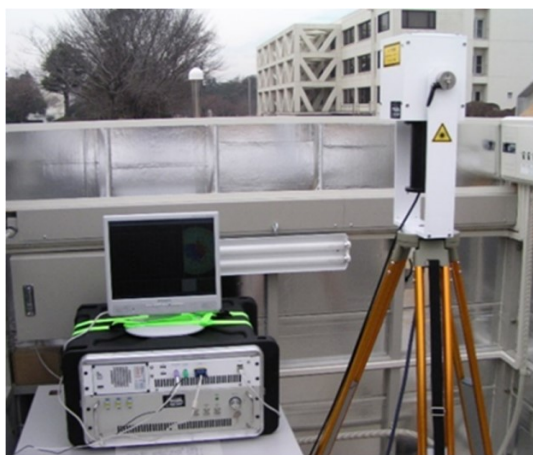


図 3.6.5 測風ライダー(三菱電機製 LR-09FIHS)

平成 27(2015)年の ICM-7 における決議を受けて、平成 28(2016)年 3 月に GRUAN リードセンターへサイトの環境写真の送付を開始し、以後年 2 回(2 月と 8 月)の報告を継続している。

(5) 比較観測の実施

(ア) 現業観測用ゾンデ変更に伴う比較観測

平成 21(2009)年 12 月に現業観測用ゾンデを RS2-91 から RS92-SGP へ変更したことに合わせて、新旧ゾンデの特性確認のため、翌年 10 月にかけて連結飛揚による比較観測を実施した。これは、GRUAN 観測地点として、長期的視野に立った観測データの連続性の確保を視野に、統計的に有意なデータを取得するため、季節ごとに約 30 回(昼・夜各約 15 回)ずつ、従来の比較観測の 2 倍の 120 回に及ぶ観測を行ったものである。このことについて平成 23(2011)年の ICM-3 においては新旧ゾンデ連結飛揚の比較結果を報告したほか、平成 24(2012)年に RS2-91 と RS92-SGP の比較結果を用いた気候トレンドについて気象集誌に発表した(Kobayashi *et al.* : 2012)。口絵 19 に 2

台のゾンデによる比較観測の様子を示す。

平成 25(2013)年 7 月に現業観測用ゾンデとして RS-11G の運用を開始したが、それに先立つ平成 24(2012)年 1 月から 10 月末まで RS-11G と RS92-SGP の比較観測を各季節昼夜各 10 回ずつ実施した。また、RS-11G の運用開始後の平成 25(2013)年末に、RS-11G、RS-11G 湿度改良型、RS92-SGP の GPS ゾンデの 3 連結飛揚を実施して、平成 26(2014)年の ICM-6 で GPS ゾンデ比較観測の結果を報告したほか、平成 25(2013)年 10 月から翌平成 26(2014)年 6 月末まで、4 季節昼夜各 10 回、計 80 回の RS92-SGP との比較観測を行って、気温、湿度、風向・風速の観測差等について平成 27(2015)年にとりまとめた(古林：2015)。また、平成 27(2015)年初めに RS-11G の湿度改良型 GPS ゾンデ(RS-11G(H))の使用を開始し、RS92-SGP、RS-11G(H)の連結飛揚を 2 月まで 5 回実施した。平成 28(2016)年には、平成 20(2008)年にまとめた高層大気の気温トレンド調査(上里ほか：2008)に続き、RS92-SGPJ、RS-11G の比較観測結果を含めた補正值を作成し、気温のトレンド解析を行った(古林：2016)。

平成 29(2017)年 9 月に現業観測用ゾンデとして iMS-100 の運用を開始したが、それに先立つ平成 28(2016)年に iMS-100 と RS-11G の連結飛揚を開始し、翌平成 29(2017)年 6 月までに 4 季節昼夜各 10 回、計 80 回を実施して、気温、湿度、気圧、ジオポテンシャル高度、風向・風速の観測差等について、平成 30(2018)年にとりまとめた(古林・星野：2018)。なお、これらの比較はいずれもゾンデメーカー提供の処理プログラムを用いて計算された現業観測データの比較であり、後に述べる GRUAN データプロダクトによる比較ではない。

(イ) 現業観測用ゾンデと異なる型式のゾンデとの比較観測

平成 26(2014)年には、RS92-SGP の飛揚を、週 2 回(月曜日 09・21 時)飛揚から週 1 回(月曜 09 時・21 時を交互)実施へと変更した。また、平成 27(2015)年 4 月には、RS92-SGP 型と RS-11G の週一回(月曜日、平成 28(2016)年 4 月に金曜日に変更)の連結飛揚を開始した。平成 29(2017)年 9 月に現業観測用ゾンデとして iMS-100 の運用を開始したため、これと RS92-SGP との連結飛揚としたが、令和 2(2020)年 2 月には RS92-SGP の製造中止に伴い RS41-SGP との連結飛揚に変更した。令和 2(2020)年 7 月に現業観測用ゾンデが RS41-SG に変更となった後は、RS41-SG と iMS-100 との連結飛揚を行っている。

(ウ) 水蒸気基準ゾンデ、気温基準ゾンデとの比較観測

平成 26(2014)年 9 月には、鏡面の冷却に冷媒を利用する鏡面冷却式露点霜点温度計による水蒸気基準ゾンデ(CFH)と RS-92 及び iMS-100 の 3 連結飛揚を計 4 回実施した。また、平成 27(2015)年 10 月に気温基準ゾンデ(MTR)との同時飛揚を実施(平成 28(2016)年 10 月にも実施)、同年 11 月には水蒸気基準ゾンデである CFH との同時飛揚を開始した。MTR や CFH との比較観測は基本的に年 2 回の頻度で実施しており、平成 31(2019)年には、平成 28(2016)年から平成 30(2018)年に実施した観測について、CFH を基準として解析している(古林:2019)。なお、平成 28(2016)年の「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」改正を受けた代替フロン規制強化により CFH の冷却に用いる冷媒の入手が困難になるため、鏡面の冷却にペルチェ素子を利用する鏡面冷却式露点霜点温度計(SKYDEW)の使用を令和 2(2020)年に開始した。

(6) GRUAN サイト認証, GRUAN データプロダクト認証

(ア) GRUAN サイト認証

気象庁は、GRUAN が平成 24(2012)年に運用を始めた「登録サイトが確実かつ継続的に活動を行うためのサイト認証制度」に基づく GRUAN サイト認証の取得を目指してきた。平成 27(2017)年に気象庁が提出した高層気象台の概況と実施する観測プログラムを記載した申請書と高層気象台で実施してきた週一回の現業観測用ゾンデと異なる型式のゾンデとの比較観測、年 4 回の基準ゾンデ(気温基準ゾンデ 2 回、水蒸気基準ゾンデ 2 回)との比較観測の実績等が認められ、高層気象台は平成 30(2018)年 4 月に GRUAN サイト認証を取得した。高層気象台(館野)の GRUAN サイト認証書を図 3.6.6 に示す。

(イ) GRUAN データプロダクト認証

GRUAN は平成 24(2012)年に「高層気象観測が気候監視を目的とした基準となるためのゾンデのデータプロダクト認証制度」の運用を開始した。

GRUAN データプロダクト(GDP)として認証されるには、観測データのトレーサビリティが確保されていること、不確かさの情報が付加されていること、データの特徴の理解や再処理のために必要なメタデータが付加されていること、処理方法が GRUAN 技術文書として公開されたうえで査読付き論文などによる評価を受けていること、といった厳しい基準を満たすことが求められている。また、ゾンデ型式や観測データの処理アルゴリズムが異なると別の GDP として認証されることになる。



図 3.6.6 高層気象台(館野)の GRUAN サイト認証書

この GDP 認証制度のもとで GRUAN は、観測サイトから報告された観測データ、メタデータをもとに GDP を作成・公開している。実際の GDP 作成については、GDP 認証を受けた機関がデータ処理センターとしての役割を担うことになっており、RS92-SGP については GRUAN リードセンターが、RS-11G と iMS-100(GDP 認証取得中)については高層気象台がそれを担当している。

高層気象台ではこの RS-11G の 1 次データを用いた GDP の作成プログラムの開発や、認証を受けるための論文・テクニカルドキュメント(TD)の作成を行った。GDP に係る英文ドキュメント(GRUAN-TD-5)の作成・発行(Kizu *et al.*: 2018)、RS-11G と RS92-SGP の比較観測結果を取り纏めた論文発表(Kobayashi *et al.*: 2019)等を行い、平成 31(2019)年 4 月に RS-11G の GDP が認証され、同年の ICM-11 において、RS-11G の GDP 認証書が交付された(図 3.6.7)。現在は、iMS-100 の GDP 認証を目指している。なお、令和元(2019)年の創立記念日に、RS-11G の GDP 認証取得に貢献した功績が顕著であるとして、星野・古林の 2 名に対して高層気象台長表彰を行った。

(7) GRUAN 観測の今後について

令和 2(2020)年に GRUAN は設立 12 年周年を迎えた。「気候監視」としての成果を出すには未だ十分なデータセットの蓄積はないものの、新たなサイトの参加や、複数のゾンデについての GDP 認証など着実に活動を進めている。GRUAN では、世界の気候帯に系統的に観測点



図 3.6.7 RS-11G の GDP 認証書授与(WMO(2019)から引用)

を配置するという観点から、世界で 30 から 40 の観測地点を目指しており、平成 29(2017)年に、高層気象台(館野)に加え、南鳥島気象観測所(南鳥島)及び南極・昭和基地(昭和)を追加するよう要請があり、同年に GRUAN サイトとして登録された。高層気象台は、本庁大気海洋部観測整備計画課、気象測器検定試験センター、環境・海洋気象課南極観測事務室、業務課とともに「GRUAN サイト連絡会」を構成して、昭和と南鳥島の GRUAN サイト活動についての技術支援をしている。

GRUAN については、GCOS により策定された GRUAN マニュアル(WMO:2013a)、GRUAN ガイド(WMO:2013b)等が整えられているものの、サイトにおいてこれを実際に運用してゆくにあたり、実情に合わせた調整が必要とされる上に、解決すべき課題や問題点が存在している。この点において、今後も、高層気象台が伝統的に培ってきた技術力をもって GRUAN 活動に貢献してゆくことが重要である。また、高層気象台単独ではなく、昭和、南鳥島と連携して、確かな技術に基づく均質で精度の良い観測を、長期間に継続して組織的に実施することができる現業気象機関としての特色を生かしつつ、GRUAN の要求に応える観測を継続してゆくことも大切である。

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 (2020): Global Climate Observing System. <https://gcos.wmo.int/en/networks/atmospheric/> (2020.12.1 閲覧)
- GRUAN (2020): GCOS Reference Upper-Air Network. <https://www.gruan.org/> (2020.12.1 閲覧)
- 星野俊介・梶原佑介・小林広征・足立アホロ・橋口浩之・川村誠治 (2014): ドップラーライダーとゾンデを用いた乱流の鉛直構造把握の試み(ポスター・セッション).

- ヨシノ). 日本気象学会大会講演予講集, **106**, 531.
- 星野俊介・木津暢彦・古林絵里子 (2016): 明星電気製 RS-11G および iMS-100 ゾンデの GRUAN データプロダクト(GDP)の作成. 高層気象台彙報, **74**, 1-16.
- 岩渕真海 (2012): ドップラーライダー観測データ品質管理手法の開発と性能評価. 高層気象台彙報, **70**, 23-30.
- 岩渕真海・足立アホロ・別所康太郎・梶原佑介・橋口浩之・川村誠治・星野俊介 (2013): 2012 年 12 月に東京都小金井市で行われた集中観測で観測された乱流事例. 日本気象学会大会講演予講集, **103**, 186.
- Kizu, N., T. Sugidachi, E. Kobayashi, S. Hoshino, K. Shimizu, R. Maeda and M. Fujiwara (2018): Technical characteristics and GRUAN data processing for the Meisei RS-11G and iMS-100 radiosondes. GRUAN Technical Document 5(GRUAN-TD-5), Rev 1.0 (2018-02-21), 152pp.
- KOBAYASHI, E., Y. NOTO, S. WAKINO, H. YOSHII, T. OHYOSHI, S. SAITO and Y. BABA (2012): Comparison of Meisei RS2-91 Rawinsondes and Vaisala RS92-SGP Radiosondes at Tateno for the Data Continuity for Climatic Data Analysis. *J. Meteor. Soc. Jpn.*, **90**, 923-945.
- 古林絵里子・脇野定則・宮林直人・矢代和也・萩谷聡 (2014): RS-11G 型 GPS ゾンデを用いた改良型飛揚前点検手法の検討. 高層気象台彙報, **72**, 19-24.
- 古林絵里子 (2015): 明星 RS-11G 型 GPS ゾンデと Vaisala RS92-SGP 型 GPS ゾンデの相互比較試験観測による特性評価. 高層気象台彙報, **73**, 11-24.
- 古林絵里子 (2016): ラジオゾンデの歴史的変遷を考慮した気温トレンド(第2報). 高層気象台彙報, **74**, 17-25.
- 古林絵里子・星野俊介 (2018): iMS-100 型と RS-11G 型 GPS ゾンデの比較観測による特性評価. 高層気象台彙報, **75**, 17-25.
- 古林絵里子 (2019): Cryogenic Frost point Hygrometer (CFH)と GPS ゾンデの比較観測の実施. 高層気象台彙報, **76**, 1-10.
- Kobayashi, E., S. Hoshino, M. Iwabuchi, T. Sugidachi, K. Shimizu, and M. Fujiwara (2019): Comparison of the GRUAN data products for Meisei RS-11G and Vaisala RS92-SGP radiosondes at Tateno (36.06° N, 140.13° E). Japan. *Atmos. Meas. Tech.*, **12**, 3039-3065.
- 高層気象台 (2011): 明星電気 RS2-91 型レーウィンゾンデとヴァイサラ RS92-SGP 型 GPS ゾンデの相互比較試験観測と検証結果. 測候時報, **78**, 221-248.

- 水野量・中村雅道 (2011) : 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. 天気, **58**, 711-717.
- 能登美之・小城良友 (2012) : GRUAN 実施調整会議サイトビジットの開催. 高層気象台彙報, **70**, 1-6.
- 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.
- WMO (1998) : CBS EXTRAORDINARY SESSION Abridged Final Report with Resolutions and Recommendations. WMO No.893, 179pp.
- WMO (2007) : GCOS Reference Upper-Air Network (GRUAN): Justification, requirements, siting and instrumentation options. GCOS-112 (WMO/TD No. 1379), 25pp.
- WMO (2009) : GRUAN Implementation Plan 2009-2013. GCOS-134 (WMO/TD No. 1506), 53pp.
- WMO (2013a) : The GCOS Reference Upper-Air Network (GRUAN) MANUAL. GCOS-170 (WIGOS Technical Report No. 2013-02), 11pp.
- WMO (2013b) : The GCOS Reference Upper-Air Network (GRUAN) GUIDE. GCOS-171 (WIGOS Technical Report No. 2013-03), 116pp.
- WMO (2017) : GRUAN Implementation Plan 2017-2021. GCOS-205, 18pp.
- WMO (2019) : Report of the Eleventh GCOS Reference Upper Air Network Implementation Coordination Meeting (GRUAN ICM-11) Singapore 20-24 May 2019. GCOS-230, 59pp.