

大気環境情報の レーザーセンシング技術

国立研究開発法人情報通信研究機構
電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室

主任研究員 青木 誠

2023年10月19日

研究の背景 — 豪雨による被害 —

- ❖ ゲリラ豪雨や竜巻、線状降水帯などの突発的な大気現象による被害が大きな社会問題に
- ❖ これらの大気現象は、積乱雲の急激な発達に伴って発生する。積乱雲発生・発達の早期探知や予測は現代社会の重要な課題に



2008年7月28日 都賀川水難事故（神戸市資料より）



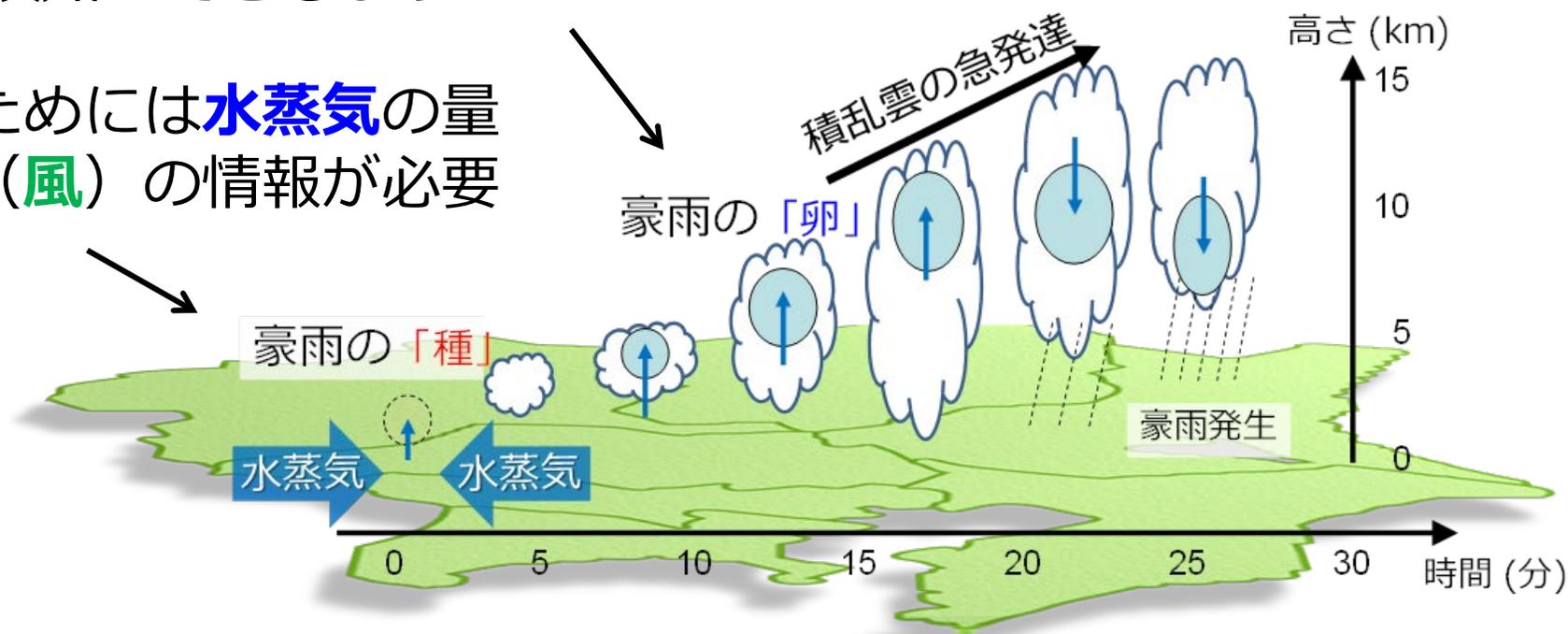
2013年に越谷市付近で発生した竜巻（気象庁資料より）

研究の背景 —豪雨の早期予測—

豪雨をもたらす積乱雲は、地面付近の水蒸気を含んだ湿潤な空気が上昇気流で上空に持ち上げられることで発生

レーダー技術の進歩で「豪雨の卵」の早期検知はできるように

早期予測のためには**水蒸気**の量とその流れ（**風**）の情報が必要

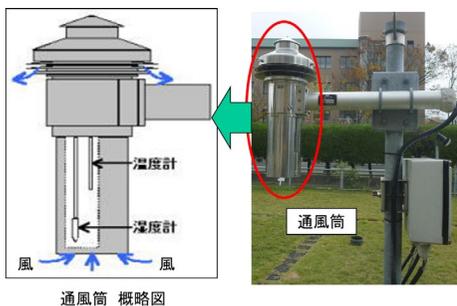


従来技術の例（水蒸気観測）

地上気象観測

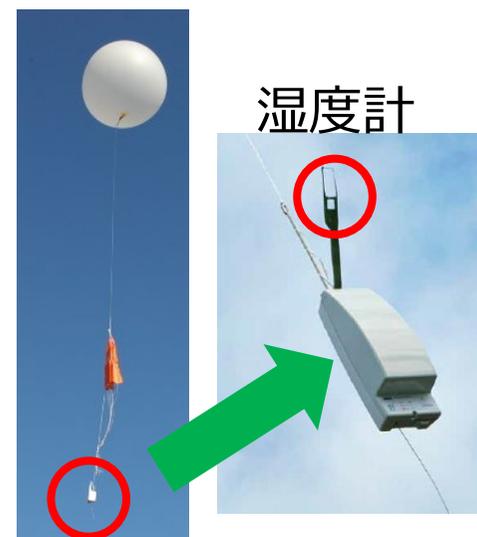
（気象庁アメダス）

全国1300カ所中、
約**150地点**で**湿度**の
定常観測を実施



ラジオゾンデ

気象庁が**全国16カ所**で**1日2回**放球
地上から約30kmま
での**湿度**を測定



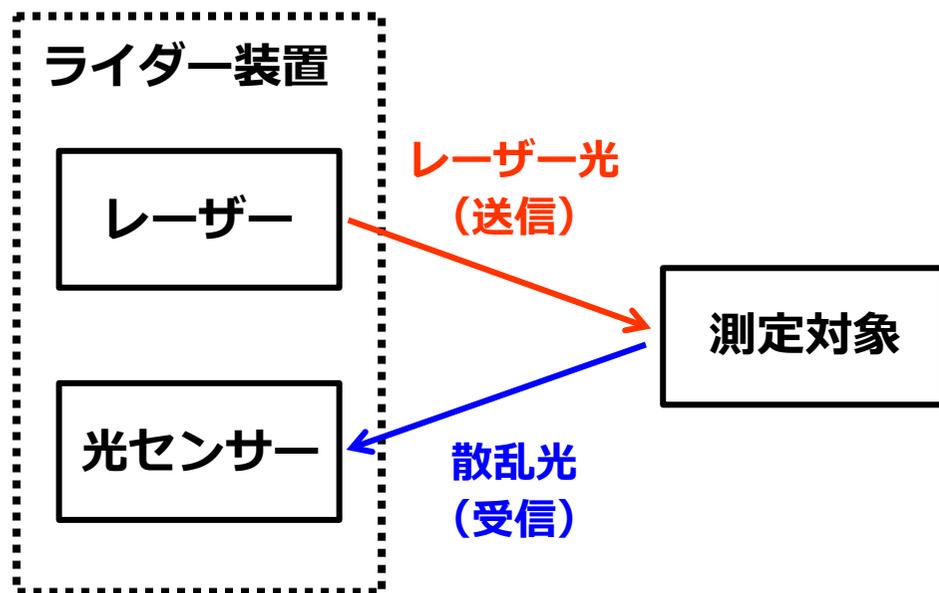
従来の水蒸気観測技術では、**水蒸気の分布**（水平方向・鉛直方向）を高頻度で得る方法が足りない！

⇒ リモートセンシングの一種であるライダー技術に着目

ライダー技術

ライダー（LIDAR, LiDAR: Light Detection and Ranging）

光を用いたリモートセンシング技術の一つで、光照射に対する散乱光を測定し、遠距離にある対象までの距離やその対象の性質を分析する装置



- 送信～受信の時間 ⇒ 対象までの距離
- 光と物質の相互作用 ⇒ 測定対象の性質



水蒸気測定のためには、水蒸気のラマン散乱を利用した「**ラマンライダー**」や、吸収を利用した「**差分吸収ライダー**」が提案されている。

従来技術と本技術の比較

ライダーの種類	測定精度	眼への安全性	初期コスト	運用コスト	風の測定
ラマンライダー ¹ 波長:355nm など	○ (昼間の観測×)	× (水平の観測×)	○	△	△
差分吸収ライダー ² (直接検波方式) 波長:近赤外	○ (昼間の観測△)	△ (水平の観測×)	○	○	×
差分吸収ライダー ² (コヒーレント方式) 波長:アイセーフ波長 ³	△⇒○	○ (水平の観測○)	△⇒○	○	○

本技術は従来技術（コヒーレント方式差分吸収ライダー）の測定精度やコストを改善（△から○に）する技術！

1. ラマンライダー： 大気分子からのラマン散乱の位置と強度によって分子の同定と濃度測定をするライダー手法。微弱なラマン散乱光をその他の成分と分離して測定する分光システムの設計が重要
2. 差分吸収ライダー： 大気分子に対して吸収波長と非吸収波長で観測を行うことで測定対象の濃度を測定するライダー手法。特に、コヒーレント方式の場合は、ヘテロダイン検波を用いて高精度で風を測ることが可能
3. 網膜まで到達せず目に損傷を与えにくい波長（1.4から2.6μm）の赤外レーザー

従来技術とその問題点(まとめ)

問題点

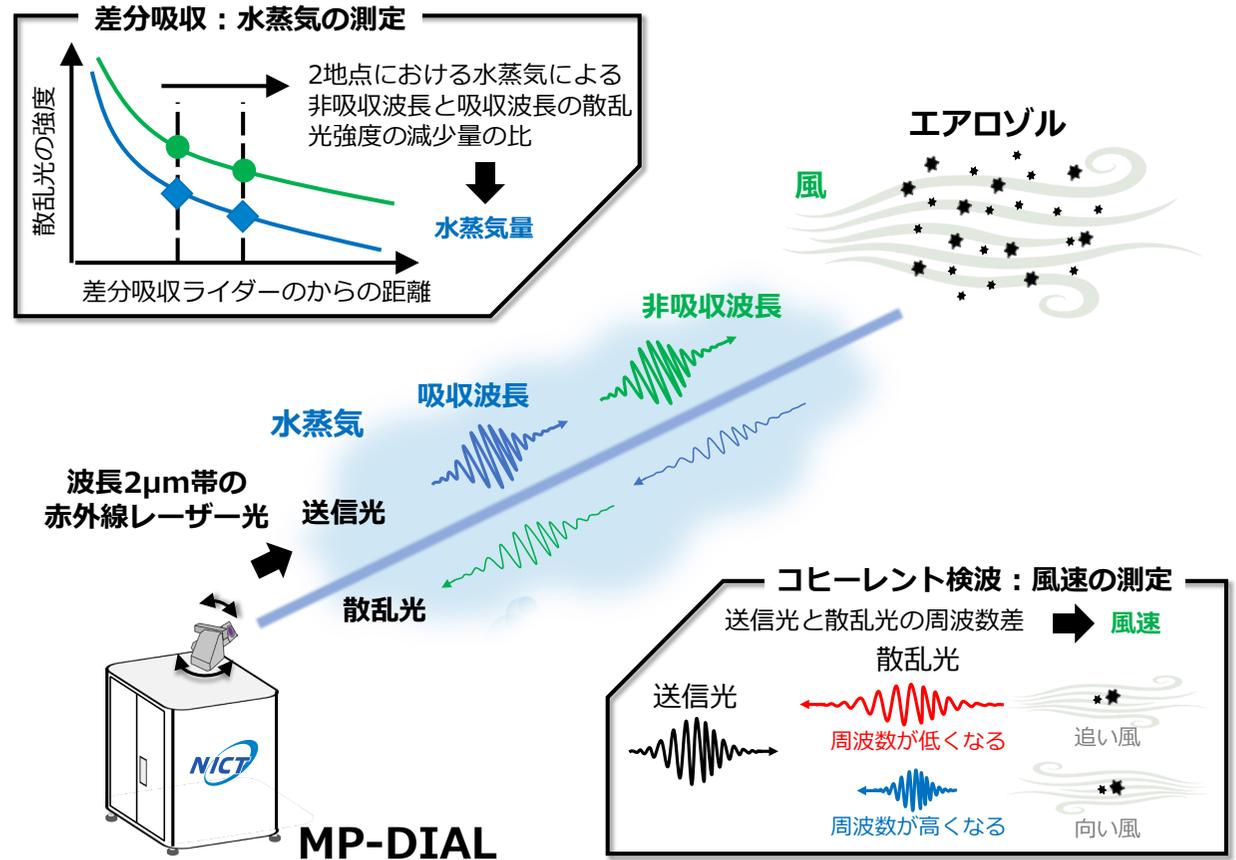
- ❖ 従来のライダー技術（ラマンライダー、直接検波差分吸収ライダー）では、太陽光の影響で日中の水蒸気の観測や、風と水蒸気の複数の同時計測は困難でした。
- ❖ コヒーレント方式の差分吸収ライダーは、風と水蒸気の同時計測が可能ですが、その一方で、高度な波長制御技術が必要でした。

解決策

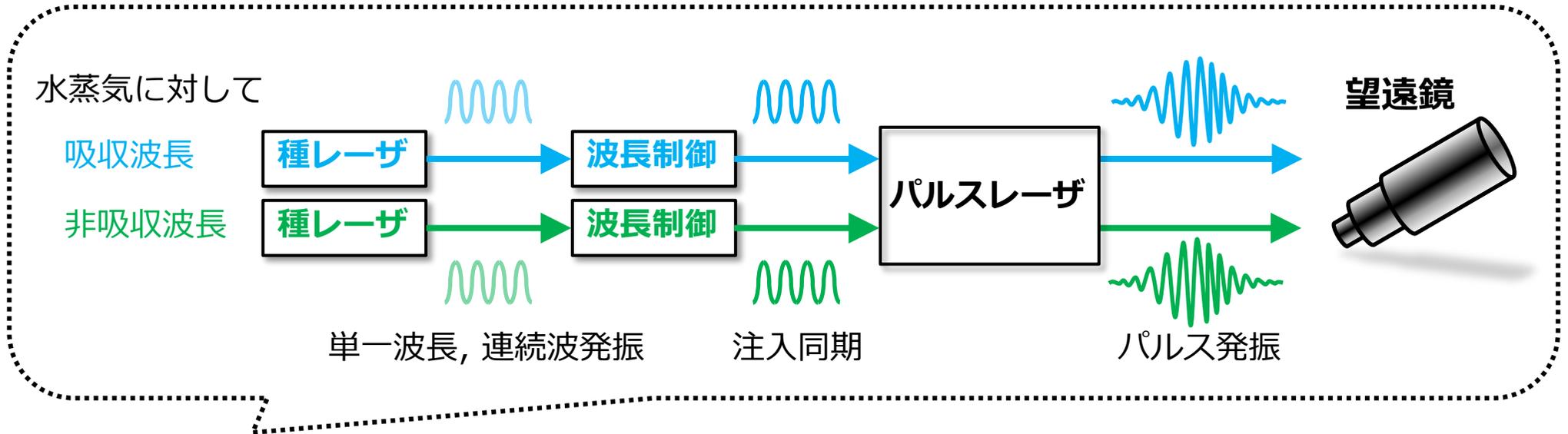
- ❖ レーザーの発振波長を高精度に制御する技術を、コヒーレント方式の差分吸収ライダーに適応するにより、この課題を克服しました。

開発した技術の特徴

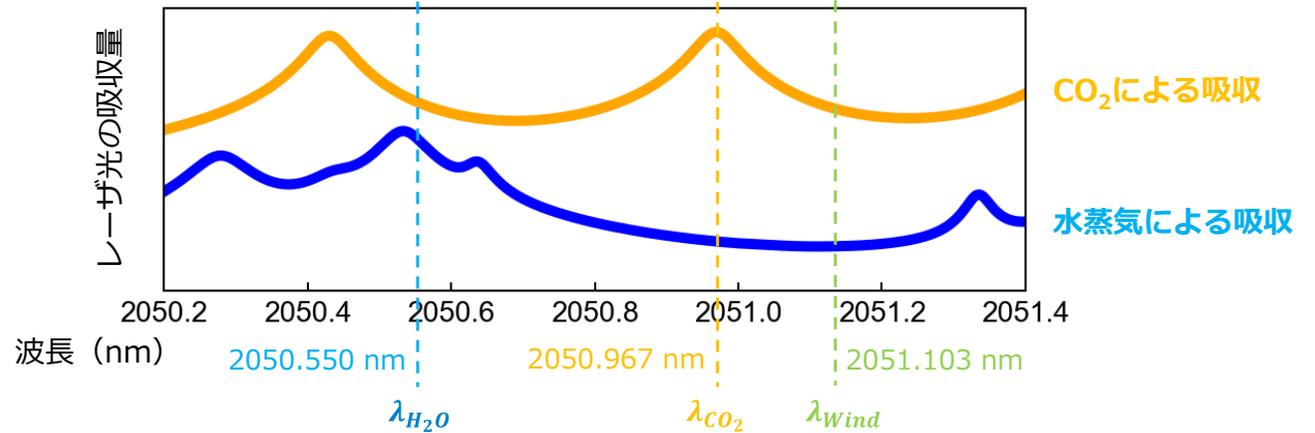
- ❖ マルチパラメータ差分吸収ライダー（**MP-DIAL: Multi Parameter Differential Absorption Lidar**）
- ❖ 風や気体分子の空間分布を高精度で同時に計測可能
- ❖ 高出力動作が可能かつアイセーフ波長の波長2μm帯のレーザー送信機の採用により、長距離観測かつ水平観測が可能
- ❖ 狭帯域な受光システム（コヒーレント検波）により、昼夜を問わず測定可能



開発した技術の概要



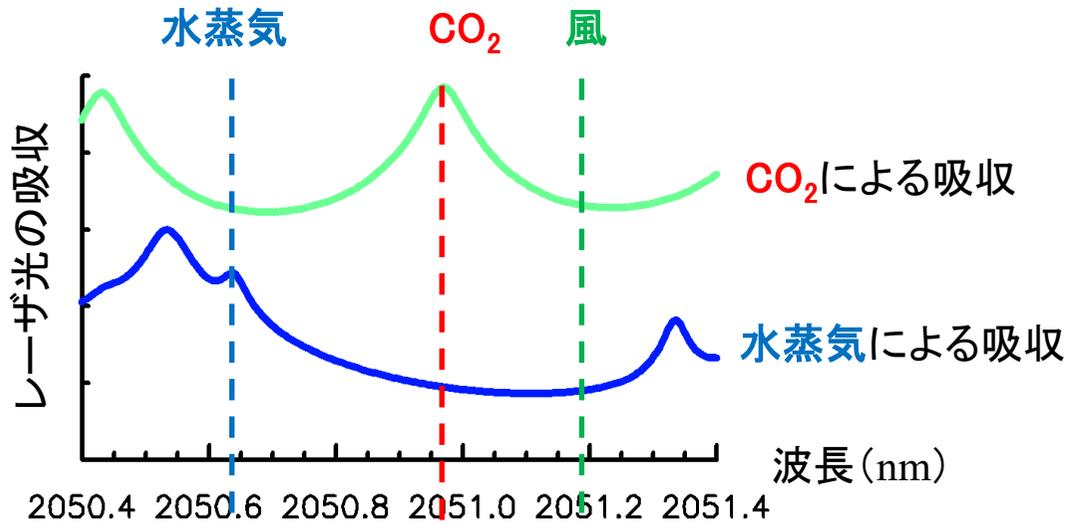
MP-DIAL



気体の計測には2波長のレーザー光の吸収量の差を利用

⇒ 長時間安定動作かつ高精度な波長制御技術が必要となる

開発した波長制御技術



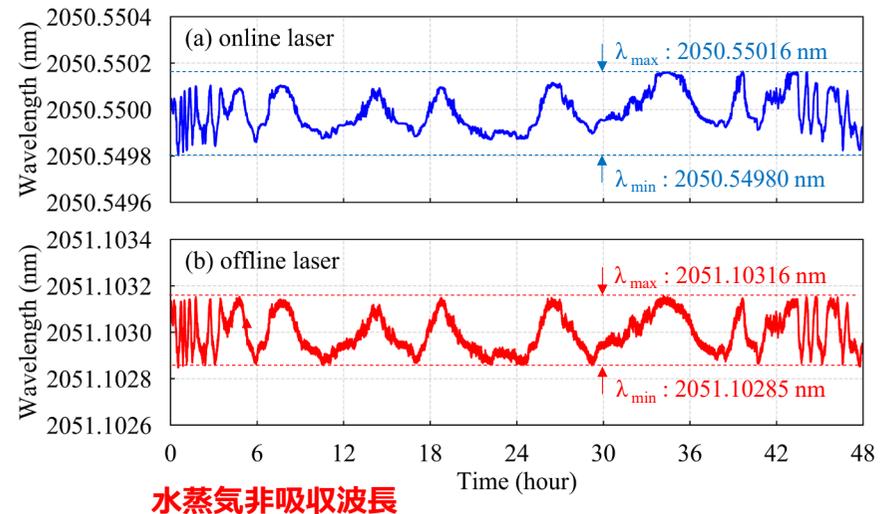
- ① 基準信号制御 (CO₂の吸収線)
- ② 位相変調器で側帯波を発生
- ③ 風観測波長を側帯波に位相同期
- ④ 水蒸気観測波長を側帯波に位相同期

本技術による波長制御の原理



本技術を利用した波長制御装置

水蒸気吸収波長 (±0.0005nm以下に制御したい。)



M. Aoki and H. Iwai, Appl. Opt. **60**, 4259-4265 (2021.5).

波長制御技術の実証

2020年6月から7月にNICT本部（東京都小金井市）において水蒸気差分吸収ライダーとラジオゾンデ※による上空の水蒸気量の同期観測を実施



ラジオゾンデ放球の様子

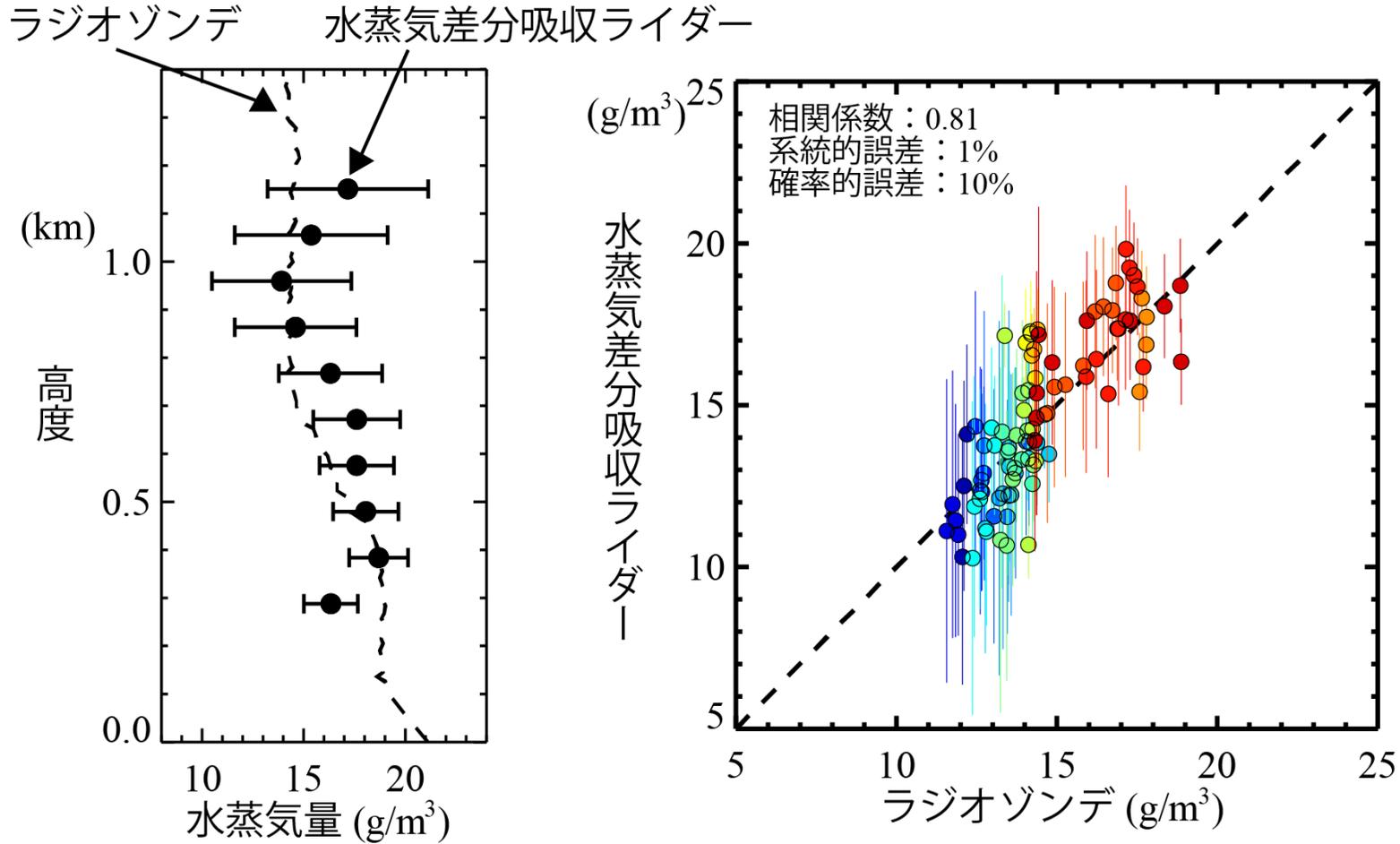
※ ゴム気球に取り付けて飛ばし、上空の気圧、気温、湿度、風向、風速等の気象要素を測定し、測定値を無線で地上に送信する装置

水蒸気ライダー



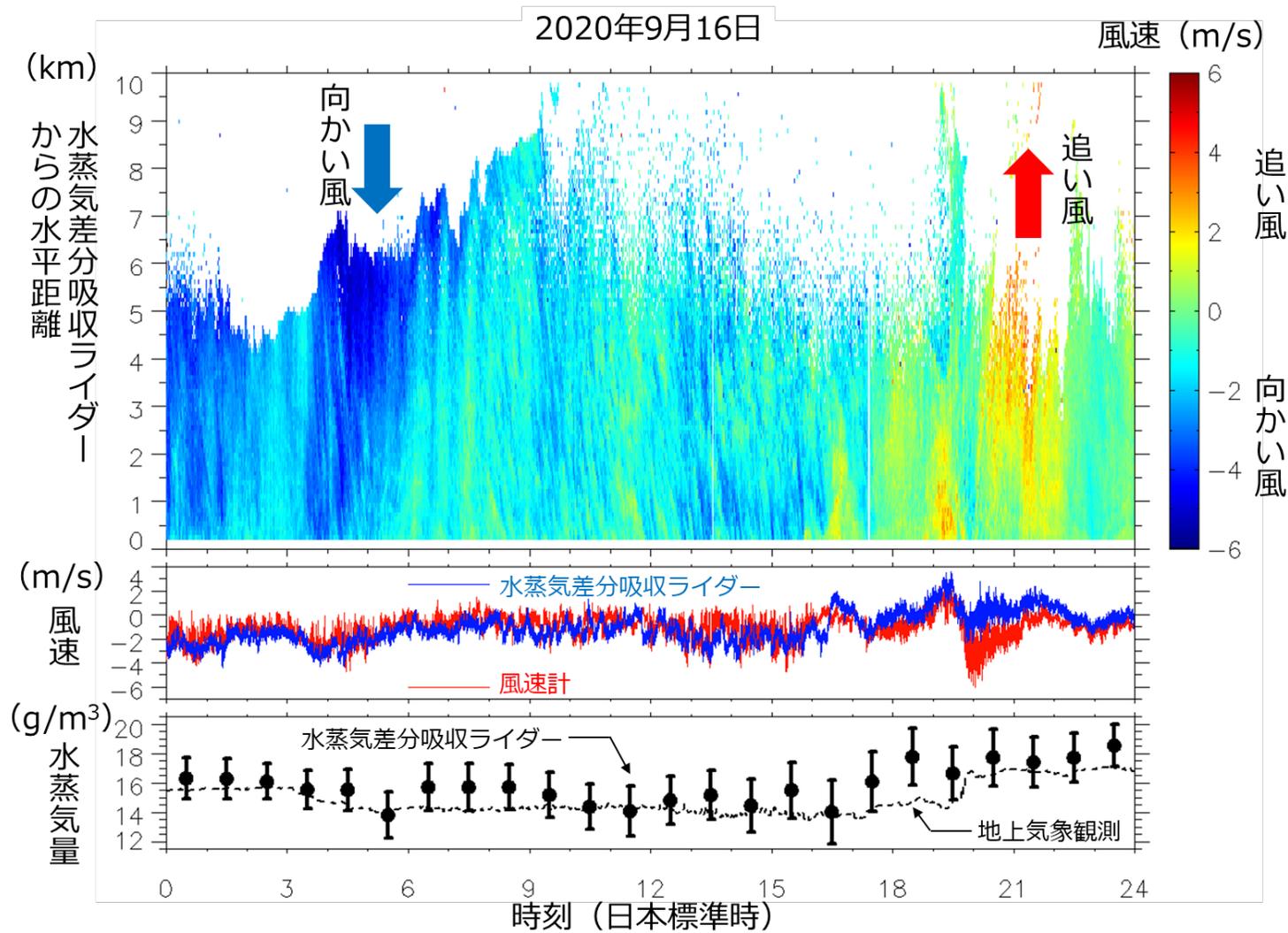
波長制御装置で制御されたレーザー光を真上に送信

水蒸気の測定精度検証



目標とする水蒸気観測精度 ($\pm 10\%$ 以下) を満たすことを実証

風と水蒸気の同時計測の検証



今後は長期動作試験や実用化にむけた取り組みを進める予定

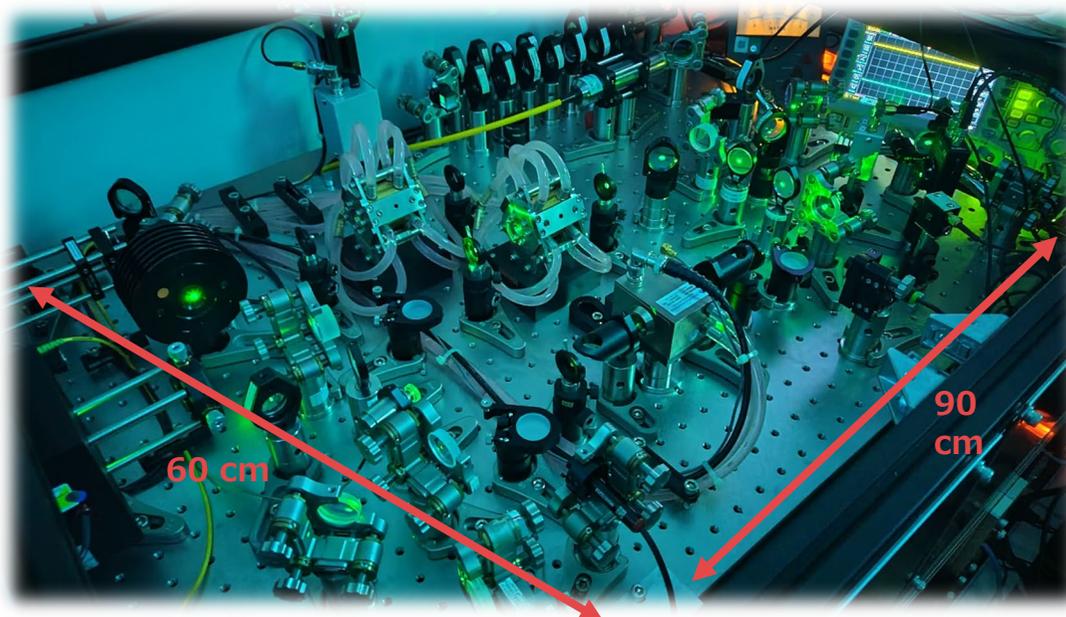
波長制御技術以外のコア技術の開発



2μm帯 単一周波数レーザー (プロトタイプ)

- ❖ MP-DIALの発振波長の元となる単一周波数かつ狭線幅なマスターレーザーで、水蒸気の観測には複数台（3台以上）が必要
- ❖ これまでは海外製の高価な製品を使用していたが、現在はNICT内で低価格化（できれば100万以下にしたい）のための研究を実施中
- ❖ 今後は製品化するために協力していただけるパートナーを探す予定

波長制御技術以外のコア技術の開発



可搬型の2μm帯 高出力パルスレーザー

- ❖ MP-DIALの光送信機用の高出力パルスレーザー（33mJ, 600Hz）
- ❖ より遠くまで高精度で測定するために高出力化の研究を実施中、また、装置の小型化（19インチラックにマウントしたい）の研究も実施中
- ❖ 最終的には、24時間・365日連続稼働できるように改良するために、一緒に検討していただけるパートナーを探す予定

想定される用途

- ❖ 本技術を用いると大気の様々な情報（風、水蒸気、大気微量成分、大気中の気体成分など）の空間分布を高精度で測定することができる。
- ❖ 気象、都市防災、風力発電、航空などの分野や用途に展開すること可能だと思われる。



実用化に向けた課題

- ❖ 現在、装置の構成要素（シードレーザー、波長制御装置、パルスレーザー）についてはプロトタイプを作製して技術実証済み。今後、実用化に向けた装置試作を行う必要がある。
- ❖ 実用化に向けて、屋外において長期安定して装置を運用する技術を確立する必要がある。
- ❖ 水蒸気の計測精度は、他の計測機器との比較により検証する必要がある。

企業への期待

- ❖ レーザーの開発・製造実績を持つ企業や本技術の実用化・量産化に向けた共同研究を希望します。
- ❖ 2 μ m帯単一周波数レーザーは現在1千万円超の海外製品を使用している。それを**100万円以下で製造**したい。
- ❖ 2 μ m帯高出力パルスレーザーは、光学ベンチに組んでいるものを**19インチラックマウントできるくらい小型化**したい。
- ❖ また、本装置は屋外での使用を想定しているため、屋外で長期間安定して稼働する装置の開発・製造実績がある企業との共同研究を希望します。
- ❖ 現在は実験室内または観測コンテナ内で数時間運用する程度、今後は気象観測用に**24時間・365日連続稼働**できるように改良を進めていきたい。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 波長制御装置、波長制御方法、
差分吸収ライダー装置
- 出願番号 : 特願2021-025706
- 出願人 : 国立研究開発法人情報通信研究機構
- 発明者 : 青木 誠、岩井 宏徳

お問い合わせ先

国立研究開発法人情報通信研究機構
イノベーション推進部門
知財活用推進室

T E L 042-327-6950
e-mail ippo@ml.nict.go.jp