

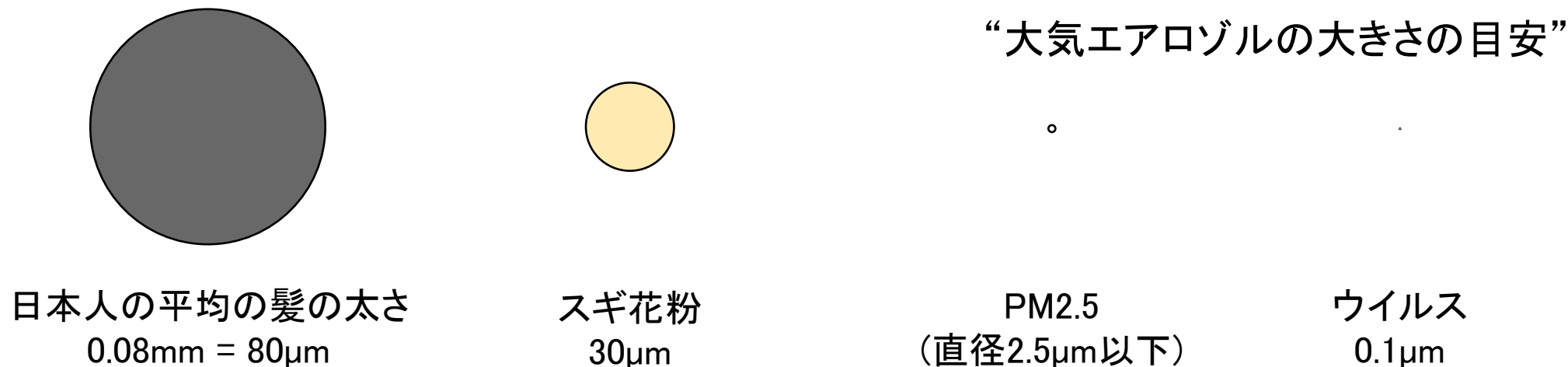
次世代エアロゾルライダーを用いた 大気エアロゾルモニタリング技術

国立環境研究所 地球システム領域
主任研究員 神 慶孝

2023年3月9日

研究の背景：大気エアロゾルの大気環境への影響

- ◆空気中には様々な種類の大気エアロゾルが存在している（大気汚染性粒子、黄砂、森林火災起源粒子など）。
- ◆PM2.5などの微小な大気エアロゾルは肺の奥深くまで入るため、呼吸器系疾患等の原因となる。
- ◆世界人口の90%が汚染した空気を呼吸して生活している。年間約700万人が大気汚染が原因で早死との推計（WHO, 2018）。

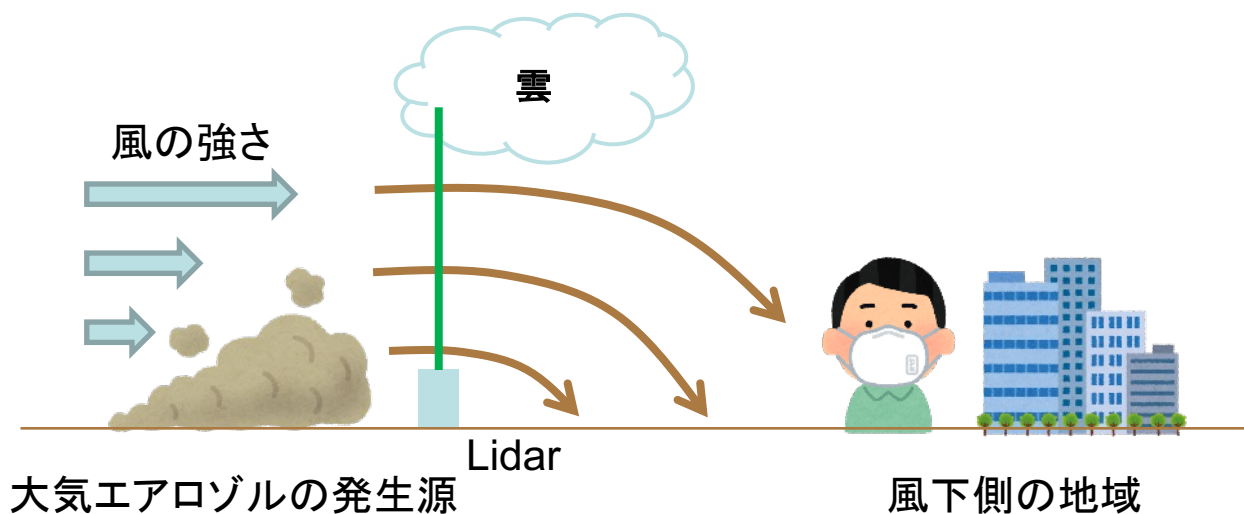


研究の背景：大気エアロゾルの気候影響

- ◆大気エアロゾルは太陽光を宇宙空間に反射する“日傘効果”や雲の核として働くことで、地球の気候にも影響を与えている。
- ◆人間活動による大気エアロゾルの放出によって地球を冷やす効果があると考えられているが、気温変化の推定には大きな不確実性がある。

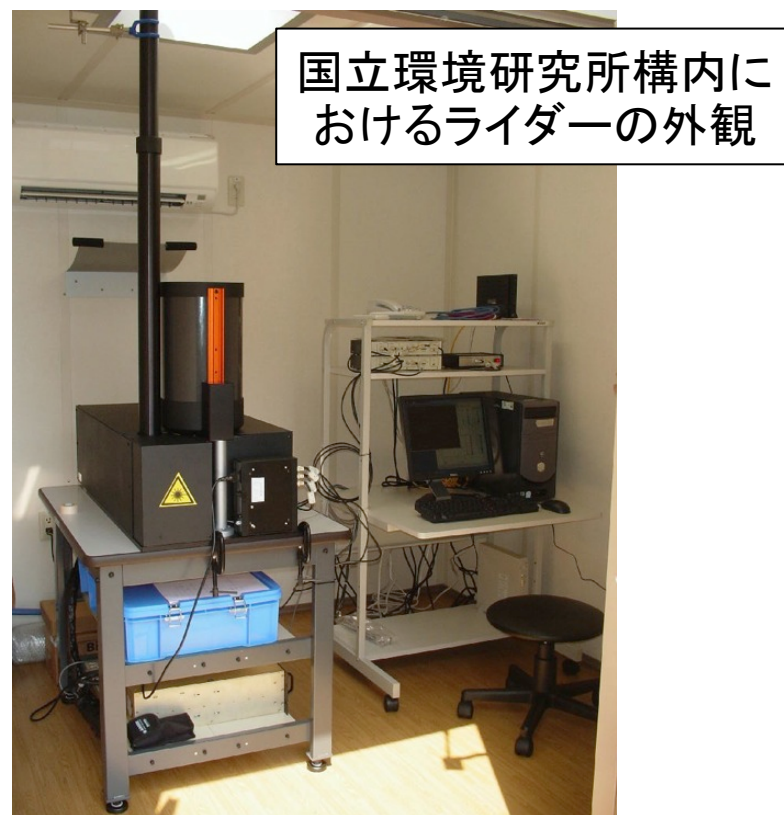
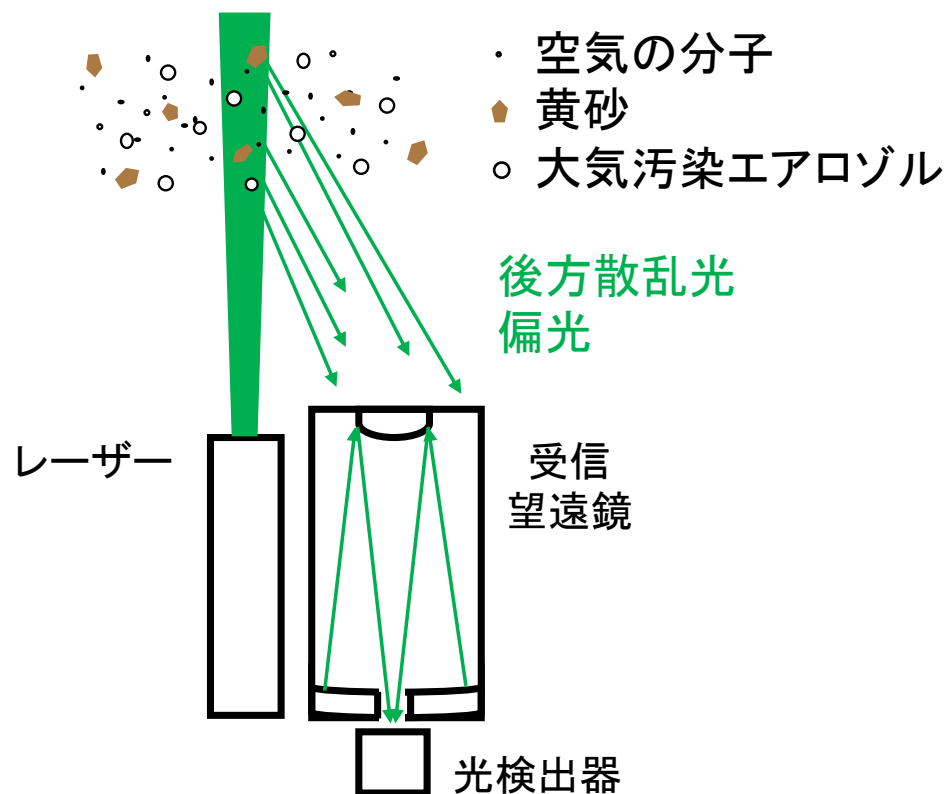
大気エアロゾルの分布や雲との関わりを知るには
「どの高さに・何が・どれだけ存在」の計測が重要！

“日傘効果”



ライダーによる大気エアロゾル計測

- ◆ライダー（レーザーライダー）は測距計として普及している（近年では自動運転のための3Dマッピング計測で注目されている）。
- ◆本技術では、レーザー光が大気エアロゾルから反射して戻ってくるまでの時間と反射強度から距離（高さ）と濃度を計測。



ライダーによる大気観測の例

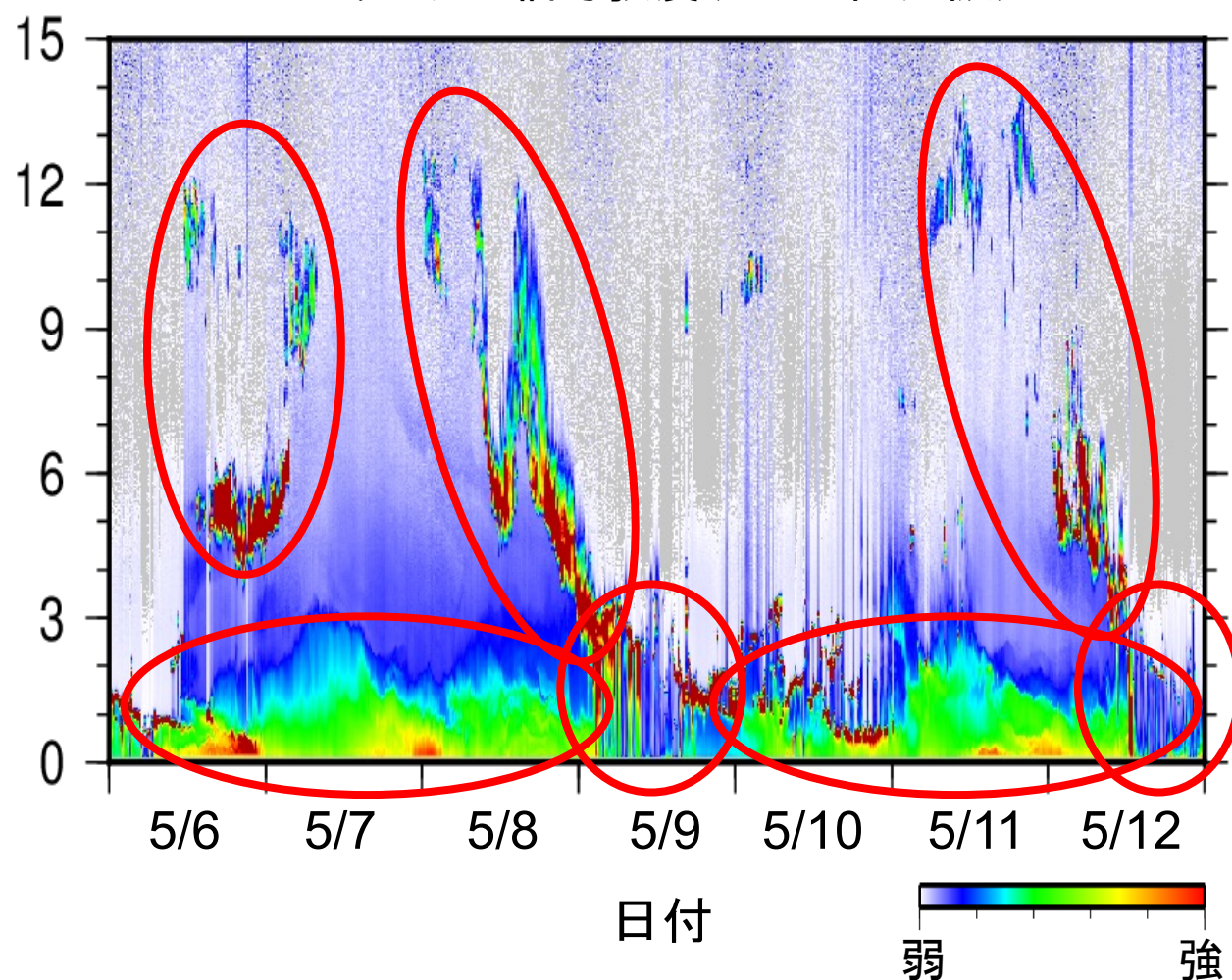
雲

降水

大気エアロゾル

高度
[km]

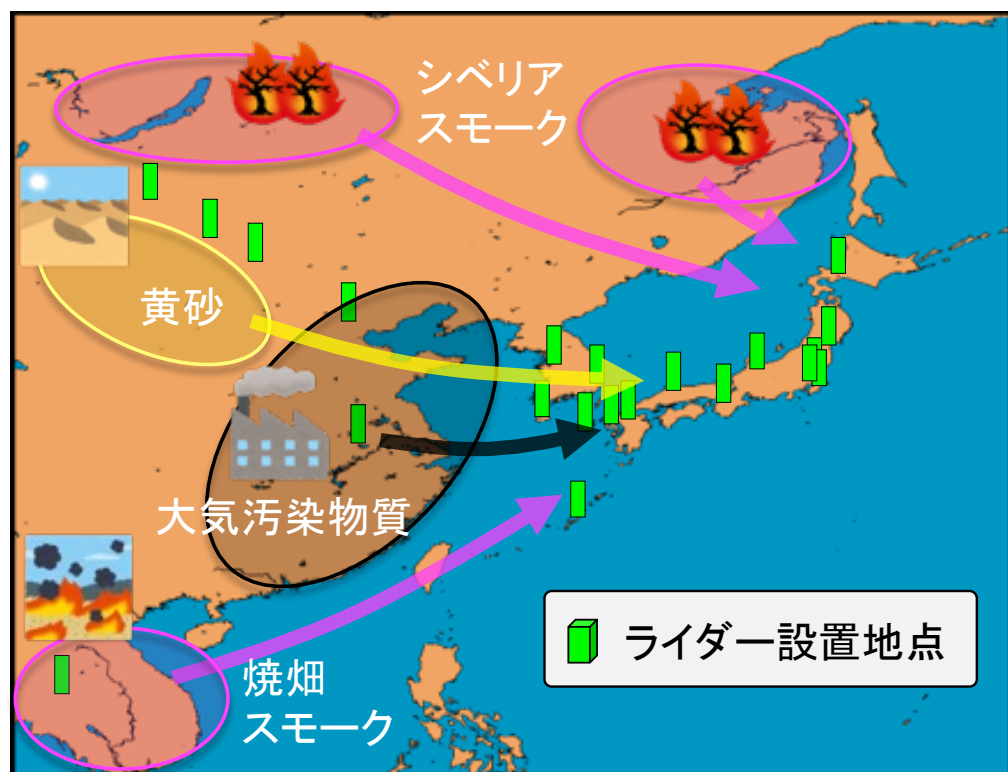
ライダー信号強度(2017年・大阪)



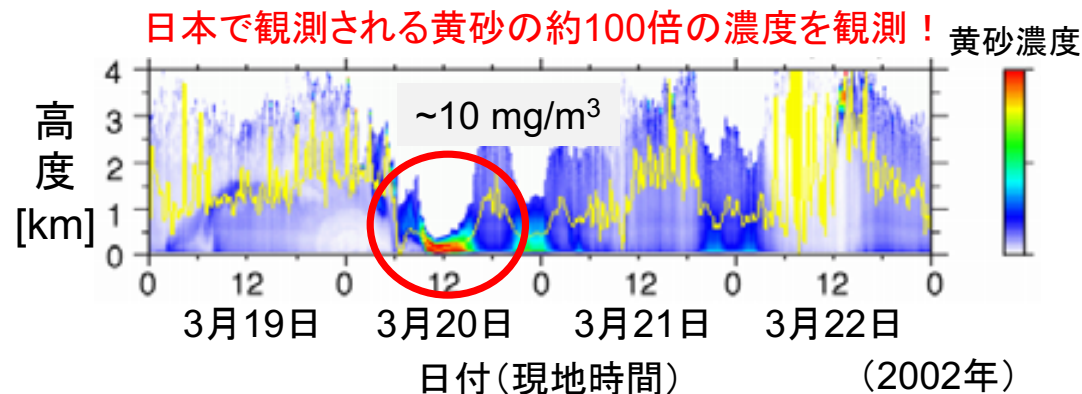
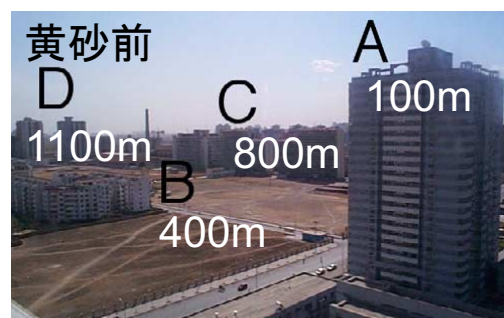
いつ・どの高さに・どんな粒子が・どれだけ存在しているのか、を測ることができる！

ライダー観測網による大気エアロゾル監視

- ◆ 東アジアでは様々なエアロゾルが飛散し大気環境に影響を及ぼしている。
- ◆ 国立環境研究所では、約20地点のライダー観測ネットワークを構築し、大気エアロゾルの高度プロファイルを常時モニタリングしている。



東アジアにおけるライダー観測網(約20地点)

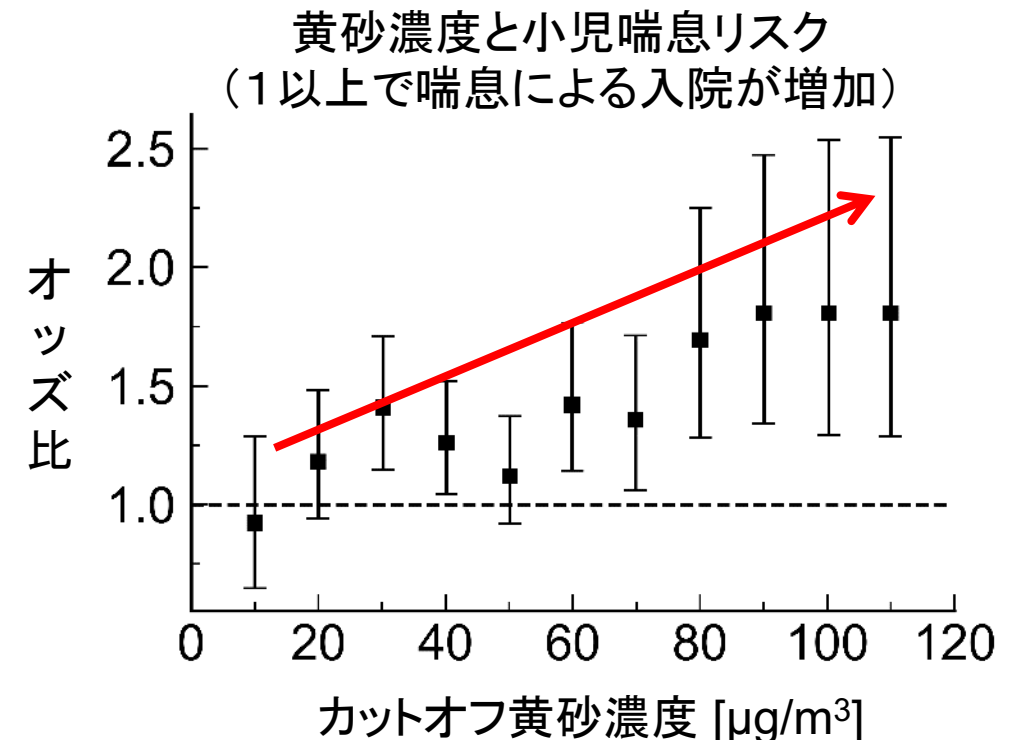


中国・北京における大規模な黄砂の観測例
(Sugimoto et al. 2003 を一部改変)

黄砂飛来情報の提供と疫学研究への活用



- ◆ ライダーで測定された黄砂濃度のデータは環境省の黄砂飛来情報のHPを通じて国民に提供されている。
- ◆ 黄砂濃度データは疫学研究にも活用されている(高濃度黄砂と小児喘息の調査など)。



(Kanatani et al. 2010 より抜粋)

環境省 黄砂ライダー



従来技術とその問題点

既に実用化されているものは、偏光ミー散乱ライダー手法があるが、

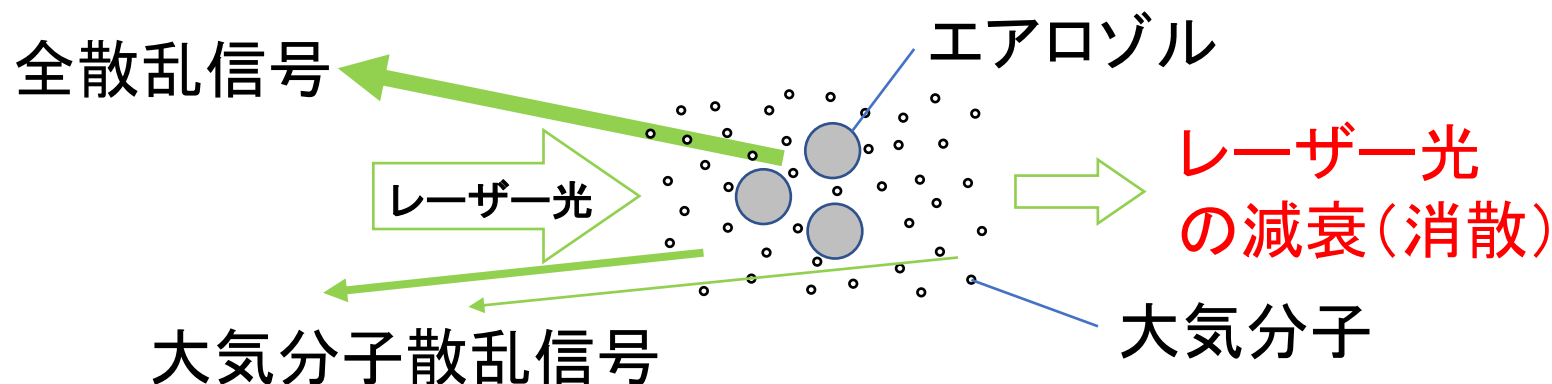
光学的濃度（消散）の推定には仮定が必要

黄砂以外のエアロゾル種は分類が困難

等の問題があり、世界的にも研究ベースでの利用が主流となっている。

多様なエアロゾルの濃度測定には、ライダーの高度化（消散・散乱の独立測定）が必要である。

大気エアロゾルの消散と散乱を測定する方法



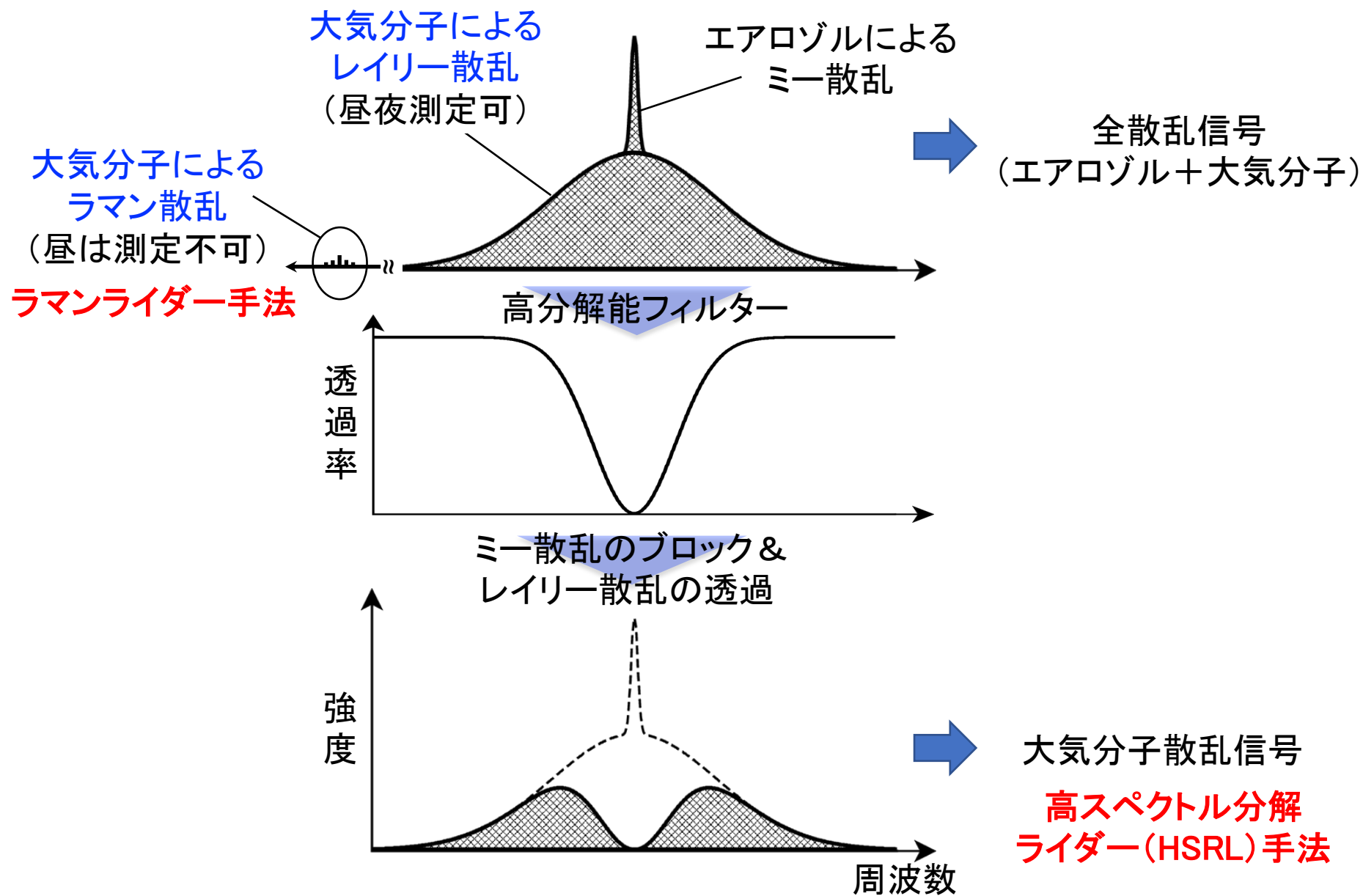
◎信号に含まれる情報

全散乱信号: **エアロゾル** + **大気分子**の散乱

大気分子散乱信号: **大気分子**の散乱のみ ➡ **消散が推定可能**

大気分子散乱信号を測定することが重要

大気分子散乱信号の測定方法



ライダー高度化に係る従来手法の課題点

◎ ラマンライダー手法:

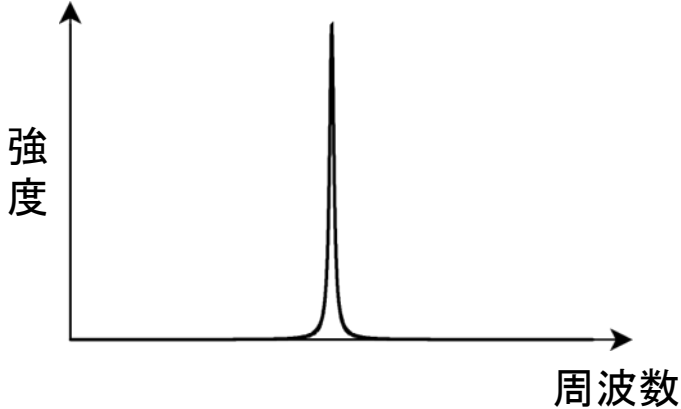
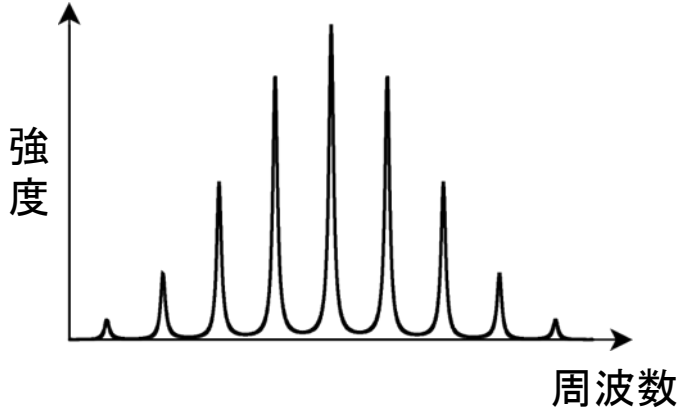
簡易的で製品化されているが、信号強度が微弱で昼間の測定が困難。

◎ 高スペクトル分解ライダー(HSRL)手法:

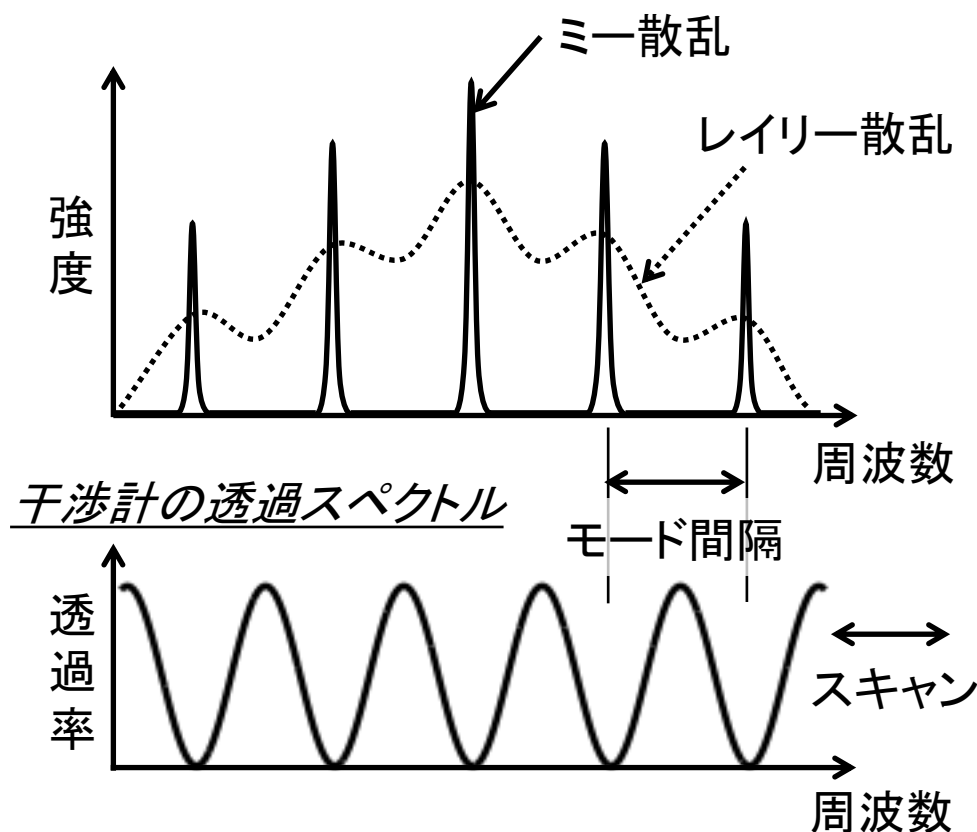
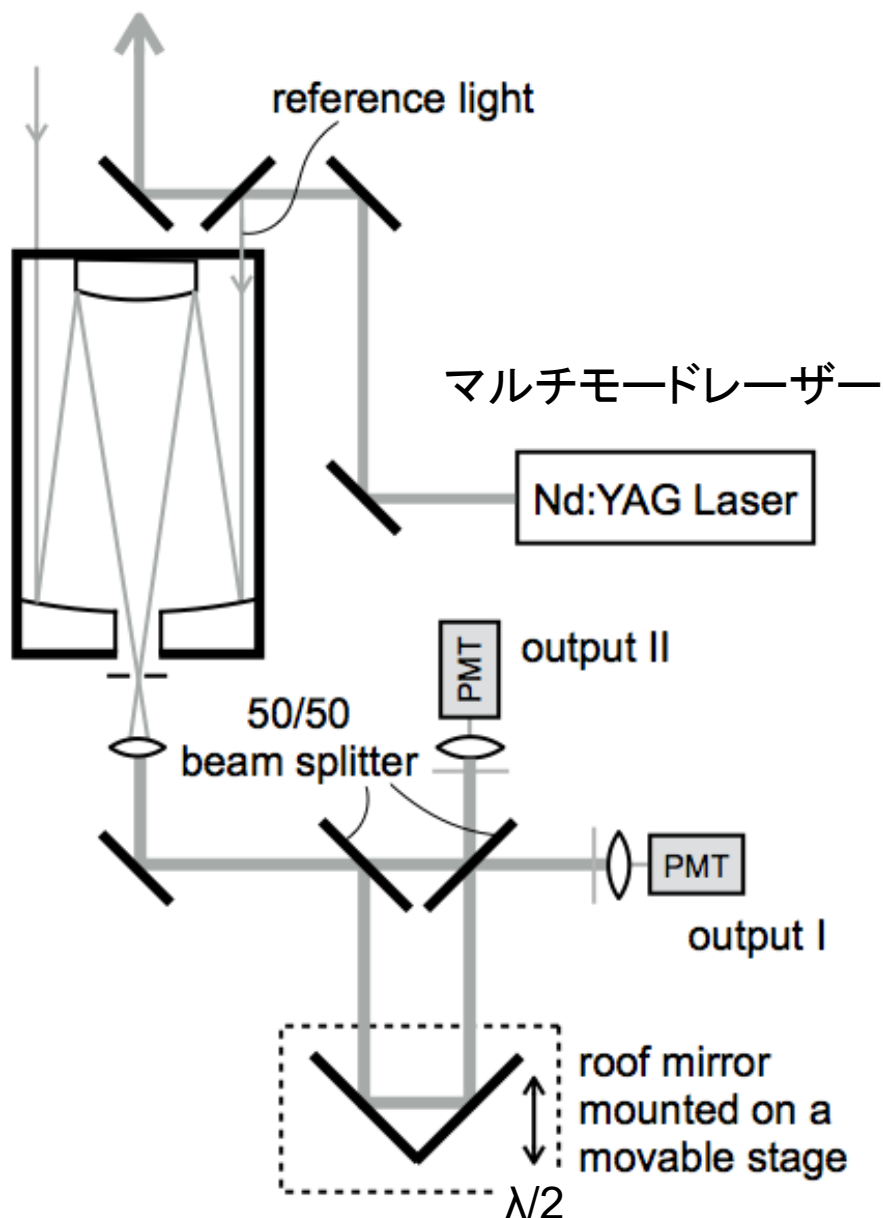
高感度で昼間の測定も可能だが、高コストかつ安定性に欠ける。

→世界的にも製品化に至っていない。

新技術の特徴・従来技術との比較

従来のHSRL手法	新技術のHSRL手法
<u>光源: シングルモードレーザー</u>  The graph shows a single, sharp, high-intensity peak on a coordinate system where the vertical axis is labeled '強度' (Intensity) and the horizontal axis is labeled '周波数' (Frequency). ◆ 高コストのレーザーが必要 ◆ 測定波長毎に分光素子が必要 ◆ レーザーないしは分光器の複雑な波長制御が必要	<u>光源: マルチモードレーザー</u>  The graph shows multiple, sharp, high-intensity peaks of varying heights on a coordinate system where the vertical axis is labeled '強度' (Intensity) and the horizontal axis is labeled '周波数' (Frequency). ◆ 低コストレーザーを使用 ◆ 1つの干渉計で多波長化を可能に → 従来手法と比べてコスト半減 ◆ 干渉計(分光器)を常時スキャンする方式で複雑な波長制御を不要に → 従来手法と比べて簡易的

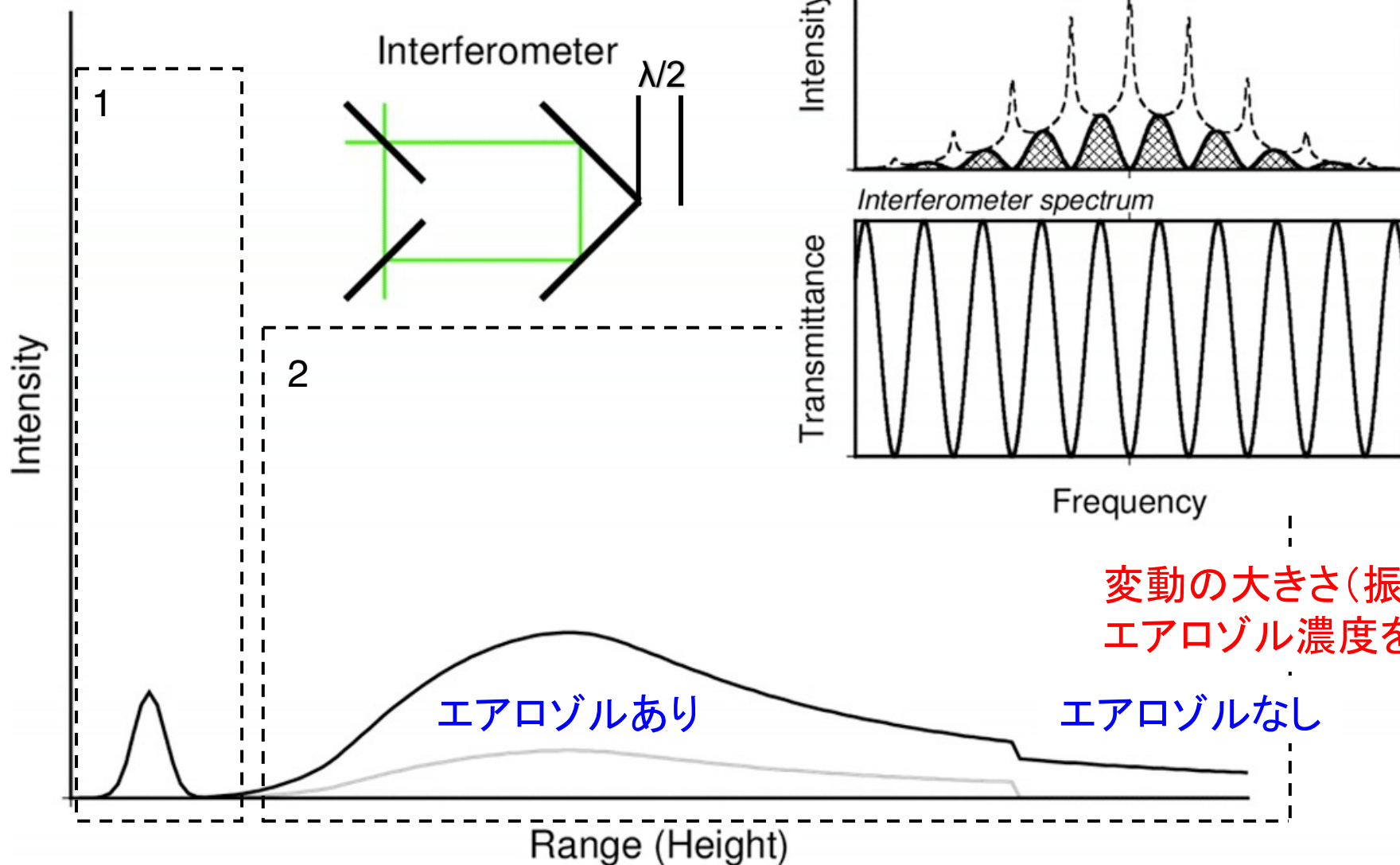
走査型干渉計を用いた革新的手法



- 安価なマルチモードを使うことで低コスト化
- 干渉計を制御しない簡易なシステム
- 特許(第6243088号)取得済みの技術

本技術によるライダー信号の概念図

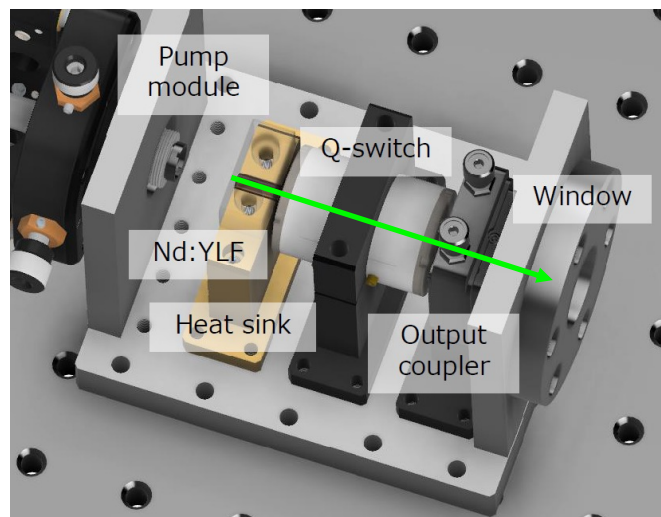
1. リファレンス信号
2. 大気散乱信号



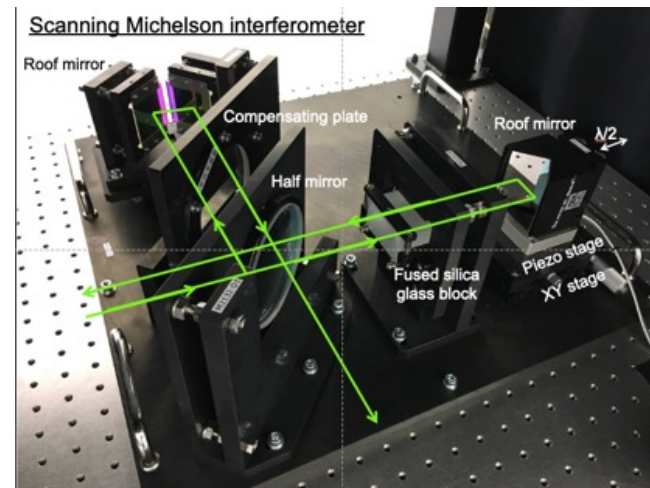
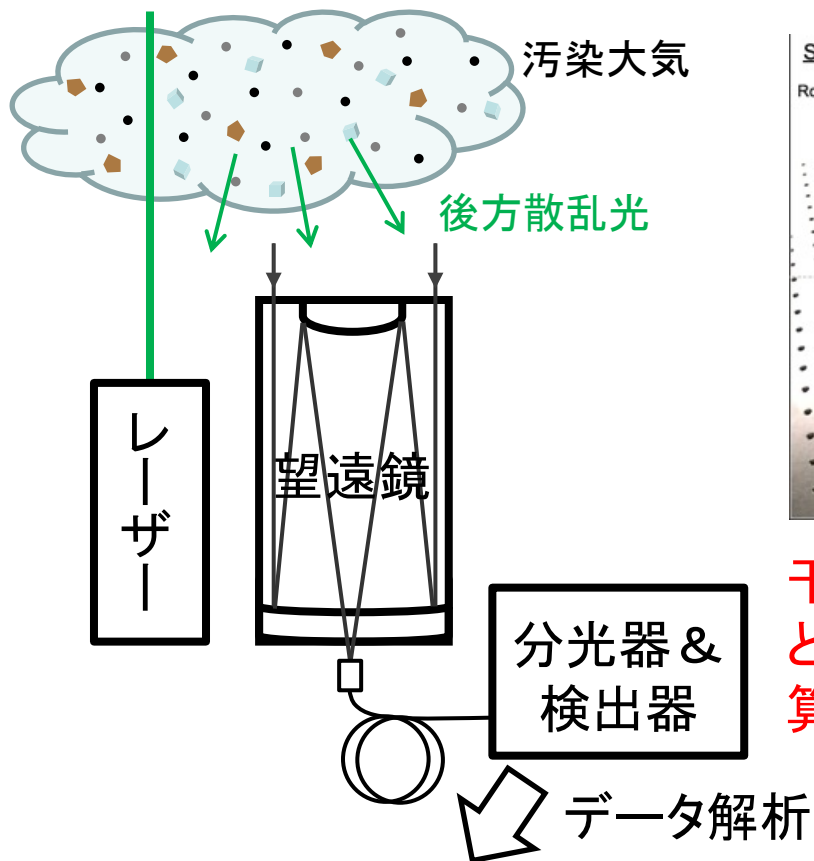
変動の大きさ(振幅)から
エアロゾル濃度を推定

環境総合推進費で開発中のシステム

推進費課題5RF-2001(令和2年度～令和4年度)で実施中



レーザーを小型化することで
システムの効率化とメンテナ
ンスフリー化を実現する



干渉計のスキャンをレーザー
と同期することでデータの積
算処理を可能に(高速化)

各種エアロゾルの濃度(消散係数)を抽出

鉱物ダスト

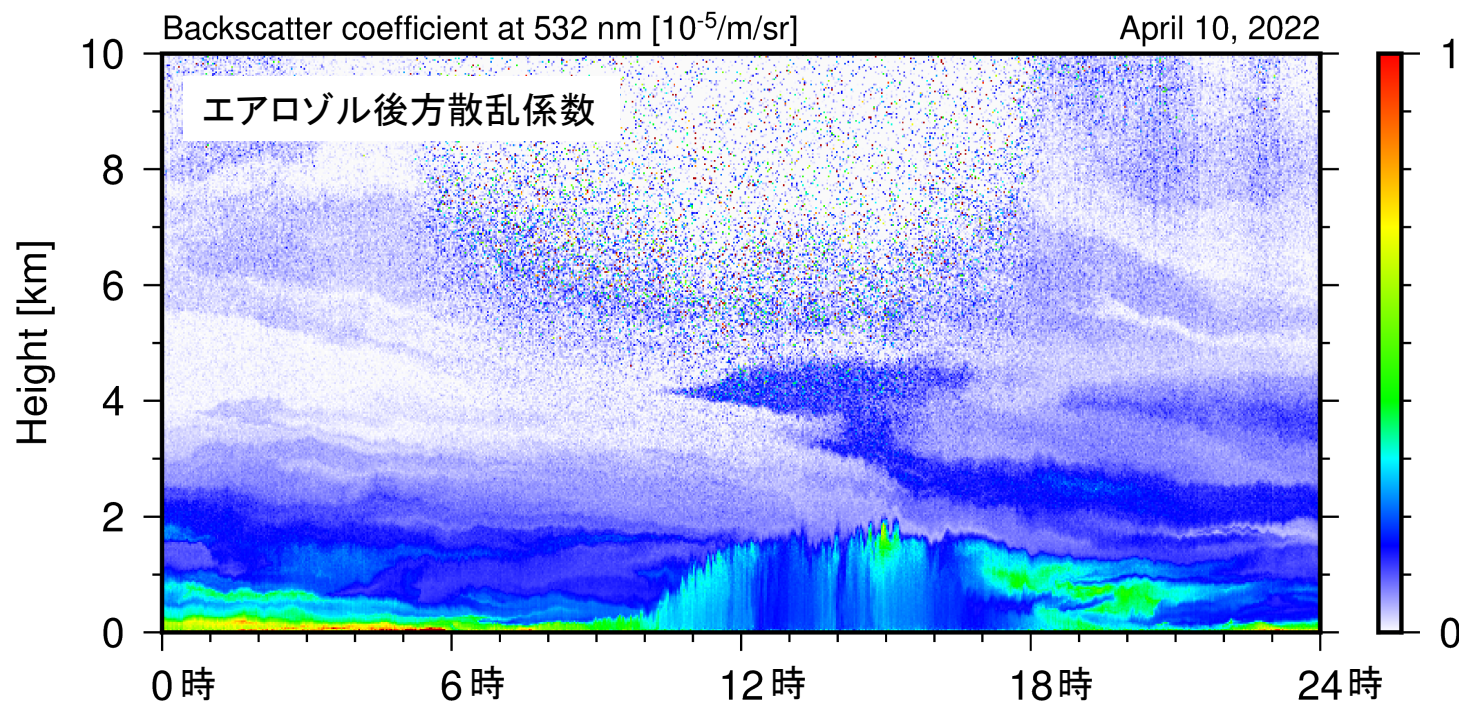
海塩粒子

ブラックカーボン

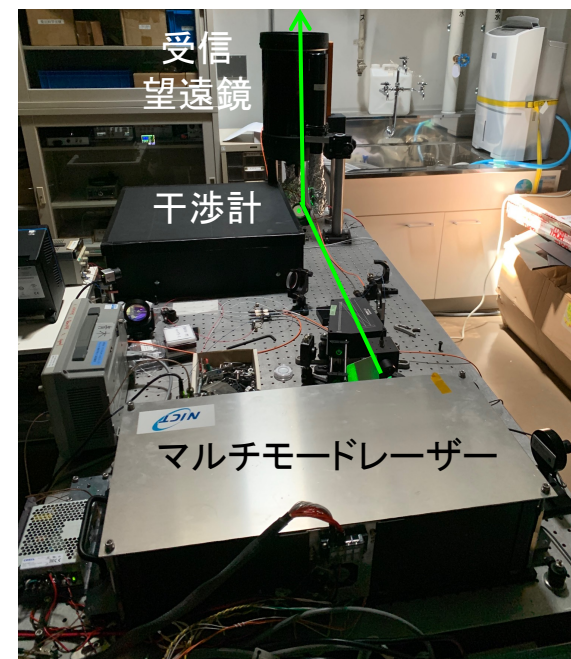
その他
大気汚染性粒子

現在の開発状況

- ◆ 小型レーザーの導入(特願2023-22663)によってシステムの安定性が向上(エアロゾル高度分布の連続観測に成功)
- ◆ レーザー出力は先行研究と比べて約400の1にもかかわらず高感度・高精度測定を実現(→測定効率が格段に向上)

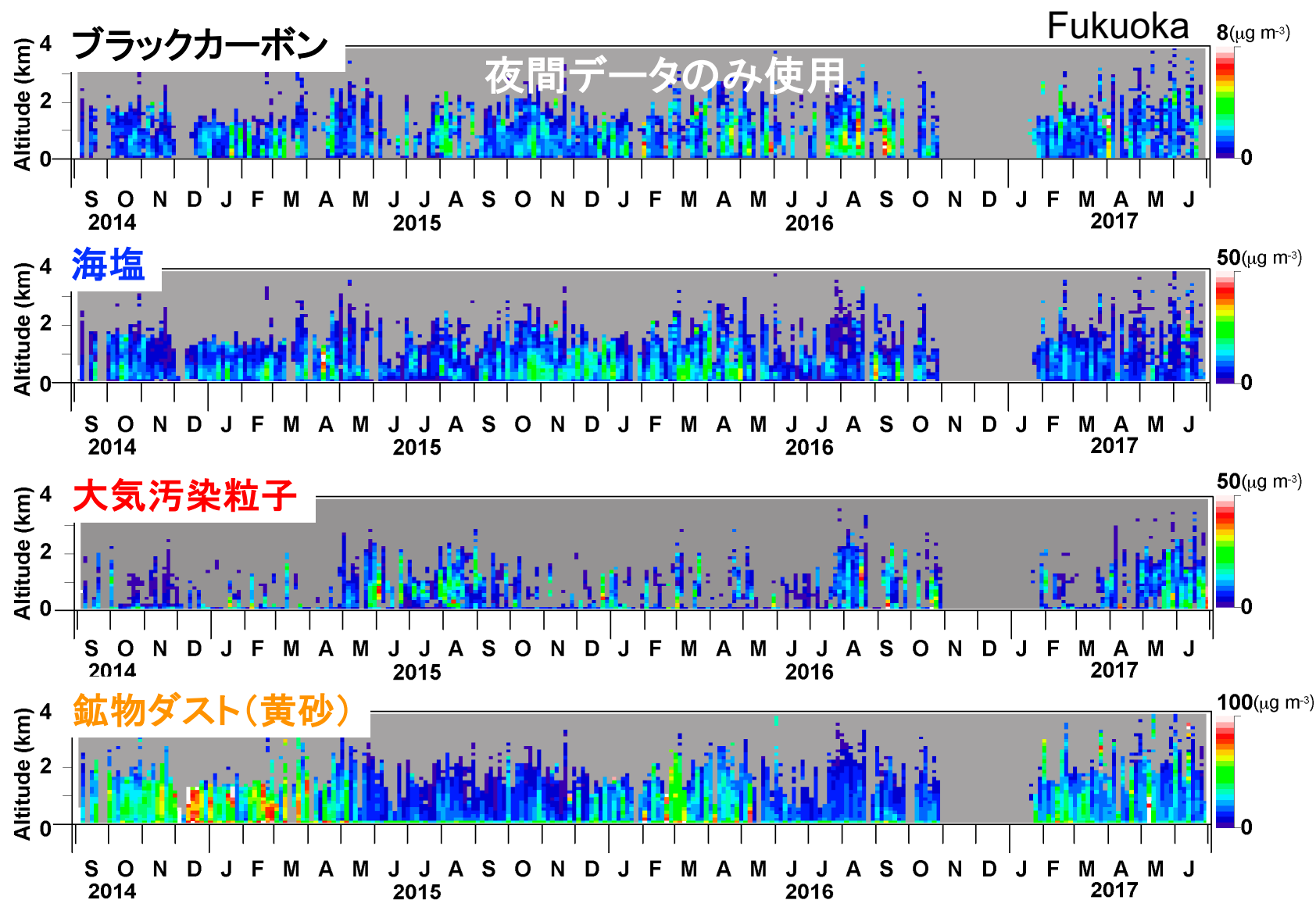


2022年4月10日@国立環境研究所



ライダー試作機

大気エアロゾル濃度の測定例



ラマンライダーによる各種エアロゾル濃度の測定の例(夜間のみ)

Hara et al., (2018)

→高スペクトル分解ライダー(HSRL)で昼夜で高分解能測定を実現可能にする

新技術と従来技術の違いまとめ

ライダーの種類	測定感度	測定精度・定量性	成分測定	安定性	初期コスト	運用コスト	サイズ
偏光ミー散乱ライダー (現行の環境省ライダー)	○	△	DS	◎	◎	△	○
ラマンライダー (一部地点で設置)	△ (昼間×)	◎	DS, AP, SS, BC	◎	◎	△	△
高スペクトル分解ライダー (従来手法)	◎	◎	DS, AP, SS, BC	△	×	△	×
高スペクトル分解ライダー (本研究)	◎	◎	DS, AP, SS, BC	○	○	◎	○

(成分測定の表記) DS: 鉱物ダスト、SS: 海塩粒子、AP: 大気汚染性粒子、BC: ブラックカーボン
 (運用コストが良い理由) 空冷式レーザーダイオード励起レーザーの導入でメンテナンスフリー化
 (サイズ) 現状では1,000mm×700mmの光学定盤に搭載
 (初期コスト) 干渉計と高速A/D変換器を使用するため偏光ミー散乱ライダーよりも+約500万円
 (安定性) 干渉計を利用するため相対的に安定性は低い、長期連続測定の実績がある

想定される用途

- 本技術により、多様な大気エアロゾル（黄砂やブラックカーボンなど）高度分布の連続的なモニタリングが可能となる。
- エアロゾル種毎のPM2.5濃度を計測することで健康影響評価への活用が期待される。
- エアロゾルだけでなく、雲底高度や雲粒子タイプ（水・氷などの相識別）の計測が可能である。

実用化に向けた課題

- 現在、可視波長のシステムは開発済みである。しかし、ブラックカーボンの濃度計測には紫外波長の追加が必要であり、現在開発中。
- 今春には紫外波長システムによる計測データが得られる予定であり、今後長期運用の可能性を評価していく。
- ブラックカーボン濃度の計測精度は、他の計測機器との比較により検証する必要がある。
- また、実用化に向けて、エアロゾル濃度をリアルタイムに解析するソフトの開発が必要。

企業への期待

- 高スペクトル分解ライダーの製品化は世界初であり、ライダーやシーロメーターを開発中の企業、またはエアロゾル計測を検討している企業には、本技術の導入が有効と思われる。
- 既にエアロゾル濃度の計測技術がある企業は、ライダーの製品化にあたって比較測定による精度保証が可能である。→共同研究を希望する。

本技術に関する知的財産権

① ライダー装置の仕組みに係る知的財産(特許取得済み)

- 発明の名称 : ライダーシステム及び計測方法
- 出願番号 : 特願2017-516007
- 出願人 : 国立環境研究所、アルゼンチン国立科学技術研究評議会、アルゼンチン国防省
- 発明者 : 神慶孝、杉本伸夫、西澤智明、Pablo Ristori、Lidia Otero、Eduardo Quel

② ライダー用光源に係る知的財産(特許出願済み)

- 発明の名称 : 固体パルスレーザー装置およびそれを用いたライダー装置
- 出願番号 : 特願2023-22663
- 出願人 : 情報通信研究機構、国立環境研究所
- 発明者 : 青木誠、神慶孝

お問い合わせ先

**国立環境研究所
連携推進部研究連携・支援室**

T E L 029－850 － 2956

F A X 029－850 － 2716

e-mail kikaku-ip@nies.go.jp