

長野市内大気環境のライダーモニタリング

斉藤保典¹⁾・手塚英剛¹⁾・川原琢也¹⁾・野村彰夫¹⁾

鹿野哲生²⁾・岩井邦中³⁾・星川和俊⁴⁾

¹⁾信州大学工学部 ²⁾八戸工業大学工学部 ³⁾信州大学教育学部 ⁴⁾信州大学農学部

Lidar monitoring of the atmospheric environment in Nagano city.

Yasunori SAITO¹⁾, Hidetake TEZUKA¹⁾, Takuya KAWAHARA¹⁾, Akio NOMURA¹⁾

Tetsuo KANO²⁾, Kuninaka IWAI³⁾ and Kazutosi HOSHIKAWA⁴⁾

¹⁾Faculty of Engineering, Shinshu University, ²⁾Faculty of Engineering, Hachinohe Technical College,

³⁾Faculty of Education, Shinshu University, ⁴⁾Faculty of Agriculture, Shinshu University

Key words: Lidar, Laser radar, Atmospheric environment, Nagano city

ライダー, レーザ・レーダ, 大気環境, 長野市

はじめに

長野県, 特に長野市およびその周辺地域は, 1998年の冬季オリンピック開催決定に伴い, その関連施設の建設はもちろんのこと, 市街化地域再開発や新幹線, 高速道路, 大型幹線道路等の高速交通網の整備も進み, 今後の都市化・工業化に関して昨今その速度を急激に早めている。

歴史の古い町の開発途上にみられる, 産業用幹線道路が生活道路を兼ね, 工業地域が住宅地域に隣接するという状況下において, 道路からの自動車排気ガスや通行に伴う高濃度浮遊粉塵, 工業地区からの様々な大気汚染物質の住宅地域への流入が懸念されている¹⁾²⁾。

加えて長野地区は高海拔盆地であるという地理的要因に伴い, 気温の日較差が大きい上に比較的安定した大気をもつことから, 接地逆転層を形成し易いことが知られている³⁾。このことは大気構造において, 一度発生した大気汚染物質を大気中にため込み易い性質を持つことを示し, 上記の状況に拍車をかける結果となっている。

このような時々刻々と変化する大気環境を, 広域で連続的に把握するためには, 従来行われてきたポイントサンプリングの手法では時間分解能, 距離分解能, またコストの面で限界がある。そこで筆者らは, これまでも大気浮遊物質のミー散乱を利用したライダー

(lidar: light detection and ranging) を用いた高距離分解, 高時間分解による遠隔計測の手法を開発してきた⁴⁾⁵⁾。今回の報告では, 完成した掃引 YAG ライダーシステムとこれまでに行った鉛直および水平の掃引観測について, その解析結果とを併せて紹介する。

ライダーシステム

本研究で開発したライダーシステムの構成図を Fig.1 に, 主なシステムパラメータを Table 1 に示す。送信系には波長 532nm の YAG レーザの第二高調波を用い, 受信望遠鏡上部に固定したレーザヘッドから 2 枚の全反射ミラーを用いて受信望遠鏡の開口部内側より射出している。エアロゾルからの散乱光は望遠鏡で集光され, 干渉フィルタで狭帯化された後, 光電子増倍管で光電変換される。この信号をデジタルオシロスコープで時系列のデータとし, ディスクに格納した後, パソコンによる解析を行っている。システムは工学部情報工学棟 (6F) 屋上のドーム内に配置されている。

解析手法

大気中に射出されたレーザ光は, 観測対象空域の浮遊粉塵や大気分子などにより散乱される。受信系により集光され光電変換により得られる受信信号 (P_r) はライダー方程式により次式(1)で表される。

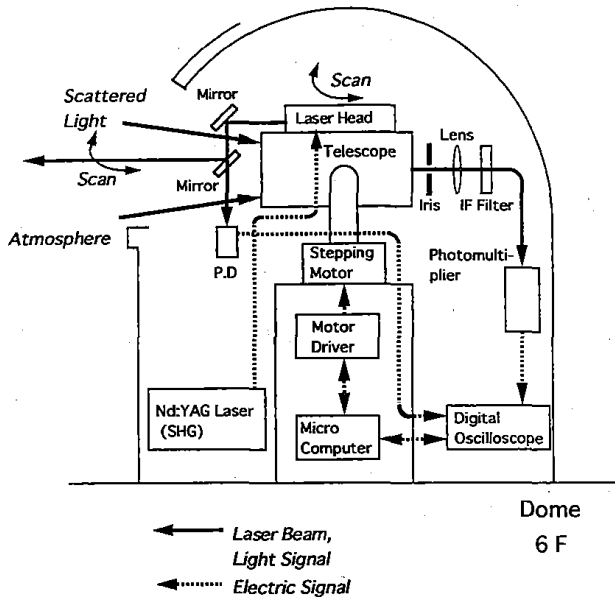


Fig. 1 ライダーシステムの構造図

Table 1 ライダーシステムの仕様

送信系	
Nd:YAG レーザ	
波 長:	532nm
パルス幅:	6ns
繰り返し:	10Hz
出 力:	4mJ
受信系	
望遠鏡	
種類:	ニュートン型
口径:	45cm
検出器	
光電子増倍管	
(干渉フィルタ+色ガラスフィルタ	
+エッジフィルタ)	
処理系	
デジタルオシロスコープ	
サンプリング時間:	40ns/word
マイクロコンピュータ	

$$P_r = CP\beta T^2 / R^2 + P_b \quad (1)$$

$$\text{ただし } T = \exp \left(- \int_0^R \alpha dR \right)$$

$$\beta = N \, d\sigma / d\Omega$$

ここで、C はシステム定数、P は送信レーザーパワー、 β は体積後方散乱係数、T は大気透過率、R は距離、 P_b は背景光パワーを示しており、また α は消散係数、N は浮遊物質等の密度、 $d\sigma/d\Omega$ は微分散乱断面積を示している。

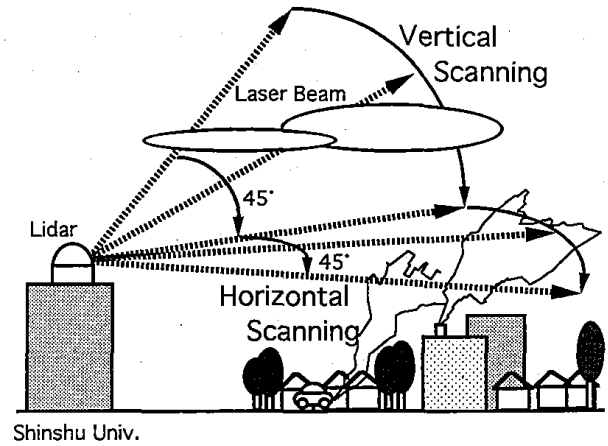


Fig. 2 掃引観測の模式図

実際の解析では(1)式の受信信号 P_r に背景光除去、距離自乗補正を加え

$$(P_r - P_b) R^2 = CP\beta T^2 \quad (2)$$

の形にし、これを β 、即ち浮遊粒子の密度 N に比例するものとし、レーザー光の送受信の時間差から求めた距離 R の地点における相対的なエアロゾル濃度としてパソコンのディスプレイ上にプロットしている。

掃引観測

今回行った長野市街地上空の観測では、水平掃引に加え垂直掃引も行うことで、大気構造の3次元プロフィールを得ることを試みた。

垂直掃引については、ウォームギアを用いて1ステップあたり5°の掃引を9ステップ繰り返すことで45°の範囲を、水平掃引については従来通りステッピングモータにより1ステップあたり1°の掃引を45ステップで45°の範囲を観測した。どちらも1ステップあたりの受信信号の積算は512回であり、垂直・水平掃引を1セットとしてそれにかかる時間は約1時間であった。

垂直掃引を手動で行ったことや水平掃引の角度分解能を1°にしたことで、1回あたりの観測に約1時間を要した。ステッピングモータによる角度分解能や積算回数は可変であり、それらの設定によっては45°範囲の観測を数分で行うことも可能である。

観測の模式図を Fig.2 に、また観測の様子を写真-1にそれぞれ示す。

観測範囲については、空間的には高層建築物や送電線等の障害物の制約があり、また時間的にはSN比を上げるための積算や手動で行う垂直掃引による制約があることから、上記の掃引角度で Fig.3 に示す範囲の

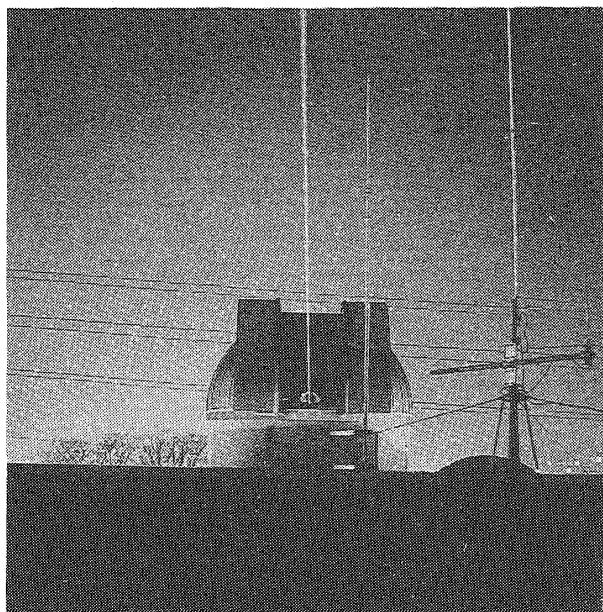


写真-1 観測の様子



Fig. 3 観測範囲

大気を観測した。

解析結果と考察

12月11日深夜から明け方にかけての観測データの解析結果例を Fig.4~7 に示す。

今回の観測では、レーザの送受信方向に6mの距離分解能で6km分のデータを取り込んだが、解析結果には比較的SNの良い2km分を10段階で濃淡表示させている。

水平掃引に関しては、Fig.5,6に見られるように、

特定の時刻にエアロゾルの帯状の高濃度分布が観測されている。これは、明け方に発生した霧やもやが風により移動していく様子が写し出されたものと思われるが、当日の風向・風速等の気象データと比較しながら現在詳細な解析を行っているところである。

垂直掃引については、Fig.4~7のどの図においても図中矢印で示す位置に高濃度境界層の存在が伺える。

12月11日の気象データ⁶⁾を長野地方気象台に求め、当日の大気現象を考察したところ、前日からの湿度および風速の値が低い12月11日未明には、放射冷却の起こり易い状況にあったことが伺える。実際に Fig.8 に示した気温の時間変化から、比較のために並べた放射冷却の起こらなかった12月15日のデータに対し、明らかに明け方の気温の低下がみられる。

放射冷却が進めば接地逆転層も発生しやすく、前頁の解析結果の高濃度境界層がそれと思われる。明け方にかけての放射冷却による接地逆転層の発達に伴い、境界層高度が約700mから540mに降下する過程が Fig.4~7 の間にみとれる。

また気象台のデータによると11日未明には、もやの発生が記録されている。解析結果では、時間が経過するにつれて、近距離に強い信号があり、それ以遠の信号が抜けてしまうような状況がみられる。これは、明け方にかけてもやが次第に濃くなる中で、式(2)中の透過率 T の値が1から著しく離れる（レーザ光の減衰が大きく大気中を透過しない）ことによるものと思われる、この点において今後解析ソフトについてもさらなる改善が求められる。

おわりに

今回の報告では、都市化の進む長野市上空の大気環境の把握を目的に行った、YAG ライダーによる垂直および水平掃引観測について、その観測手法と観測データの解析結果をまとめた。垂直掃引観測時において、手動掃引による観測必要時間の増大などの課題が明らかとなったが、解析結果については当日の大気状況を良く反映し、本開発システムが大気環境把握の手段として有効なものであることが実験的に確かめられた。

今後は、解析結果からより正確に大気現象や大気構造を読み取るために、種々の気象パラメータと併せての考察を行い、定期観測やイベント観測を通して長野市や信州地方に特有の大気環境や大気現象の解明に努めていきたい。

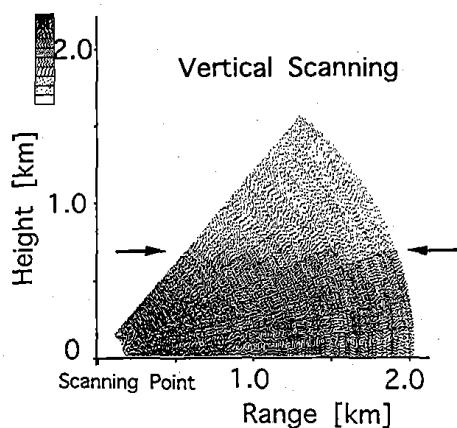


Fig. 4 A.M.2:00~

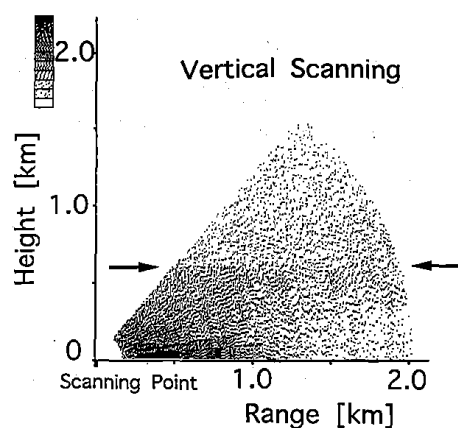
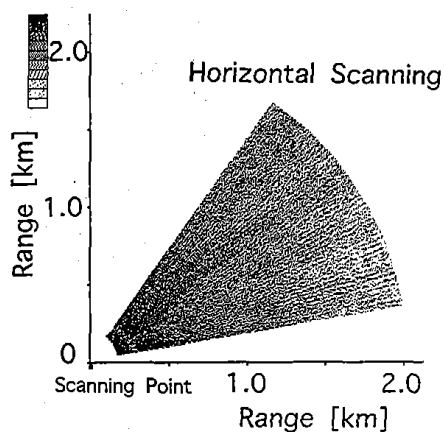


Fig. 6 A.M.4:00~

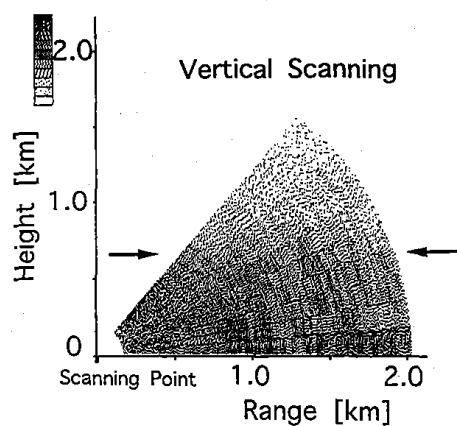
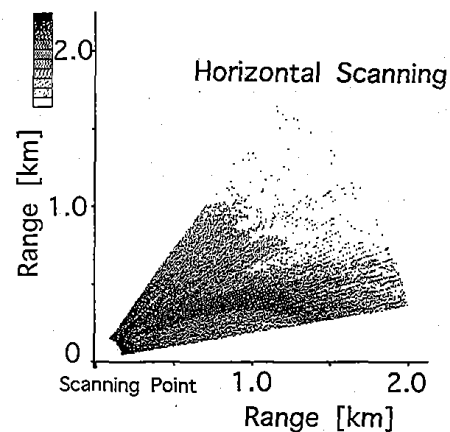


Fig. 5 A.M.3:00~

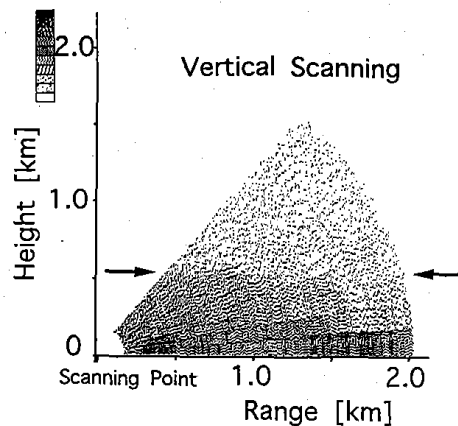
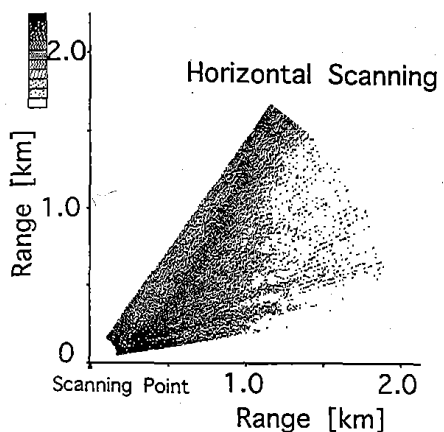
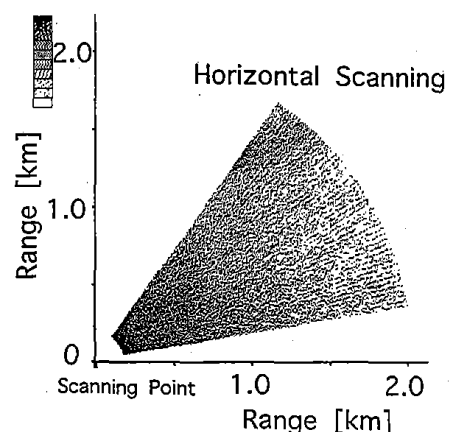


Fig. 7 A.M.5:00~



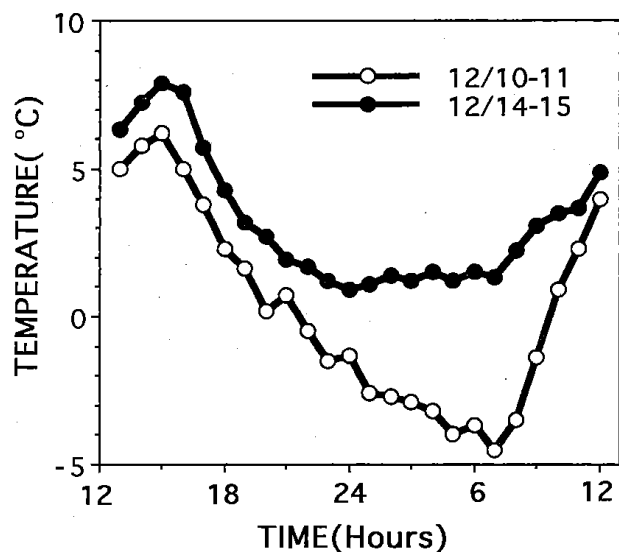


Fig. 8 気温の時間変化

参考文献

1) 斉藤, 杉本: 長野市の急激な都市化に伴う大気環

境のレーザモニタリング, 文部省科研重点領域研究「人間-環境系」研究広報 No.18, 平成4年度研究成果報告, N-36B-13, 276-278, 1993.

2) 斉藤保典: 主要幹線道路周辺から住宅域へ流入する高密度浮遊粉塵の流れの可視化に関する研究, 平成4-5年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書, 1-29, 1994.

3) 栗田秀實: 長野県衛生公害研究所, 天気, 35, 335-336, 1988.

4) 斉藤, 飯島, 小林, 野村, 鹿野: 大気中エアロゾル密度広域マッピングのための掃引形ミ-散乱ライダーシステムの製作, 電子情報通信学会論文誌, C-I, J74-C-I, 536-544, 1991.

5) 鹿野, 野村, 斉藤: 大気環境のレーザ・リモートセンシング-レーザ・レーダシステム-, 信州大学環境科学年報, 12, 1-11, 1990.

6) 長野地方気象台編: 地上気象観測原簿, 12月, 1995.

(受付 1996年1月22日)