

レーザーによる大気浮遊放射性物質計測可能性の検討

小山 知起, 阿保 真

首都大学東京大学院 (〒191-0065 日野市旭が丘 6-6)

Feasibility study on the lidar measurement of airborne radioactive substances

Tomoki KOYAMA and Makoto ABO

Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, hino, Tokyo 191-0065

Abstract: In 2011, the Fukushima nuclear power plant accident occurred in Japan. As a result, wide area radioactive contamination due to radioactive materials scattered in the atmosphere became a problem. If the amount of radioactive material released into the air can be measured with its diffusion direction and altitude near the nuclear accident site, it can be used as an initial value for diffusion prediction. In this study, we investigated the possibility of measuring airborne radioactive materials by DIAL.

Key Words: DIAL, Radioactive substances, Iodine

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災による2次災害として福島原発事故が起こり、広範囲に飛散した放射性物質による汚染が問題となった¹⁾。飛散した放射性物質の存在を肉眼で把握することは不可能であるが、その量によっては内部被ばくなど人体に害をもたらす可能性があるため、その空間分布濃度を定量的に可視化することが求められている。さらに今後原発事故が発生した際に、発生場所周辺で放射性物質の空中放出量とその拡散方向や高度を測定することができれば、放射性物質の周辺への拡散予測の初期値として利用が可能である。

本研究では、福島原発事故により大気中に放出された放射性物質に着目し、ライダーを用いて大気中に浮遊している放射性物質濃度を測定する手段の実現可能性を検討する。

2. 測定対象の検討

福島第一原子力発電所事故における放射性物質の大気中への放出量は文献2により主な核種である希ガス、I-131、Cs-134、Cs-137について推定値が報告されている。この放出量を元に原子炉から放出されたあともしばらく存在する核種(半減期が10時間以上)について、その半減期、放出量、常温常気圧における相をまとめたものをTable 1に示す。この中からライダーによる測定可能性のある候補を検討する。

まずCsは反応性が高く空気中の他の物質と化合物を生成することから、エアロゾルに付着したCsをLIBS(Laser-Induced Breakdown Spectroscopy)により測定できる可能性はあるが、その定量的な評価が困

難なため今回は候補から除外した。

次にXeは希ガスであるため空気中でも単体で存在する。Xeの基底準位からの共鳴波長は147nmであり、これを294nmのレーザーにより励起する2光子吸収共鳴散乱ライダーでの観測可能性について検討を行ったが、147nmの共鳴散乱光は酸素の吸収帯にあるため、遠距離からの検出は困難であることがわかった。

Table 1 Main radioactive substances released into the atmosphere by the Fukushima Nuclear Power Plant Accident²⁾

Nuclide	Half-life	Amount of emission[Bq]	Phase at STP
Xe-133	5.2 days	1.1×10^{19}	Gaseous
Cs-134	2.1 years	1.8×10^{16}	Solid
Cs-137	30.1 years	1.5×10^{16}	Solid
I-131	8.0 days	1.6×10^{17}	Solid (Sublimability)
I-133	20.8 hours	4.2×10^{16}	Solid (Sublimability)

最後にIは昇華性を持つため大気中でも一定量は気体分子I₂として存在することが可能である³⁾。このことから、本研究の測定対象候補を放射性物質の¹³¹Iに決定した。

続いてI₂の測定方法について検討する。ライダー手法には測定に利用するレーザーと大気との相互作用の種類によって各種方法があるが、差分吸収ライ

ダー (DIAL: Differential Absorption Lidar) は吸収を利用した代表的な気体成分の測定手法である。DIAL では、測定対象分子の適当な強さの吸収線があること、測定対象以外の大気構成分子の吸収が小さいこと、また、大気から十分な後方散乱光が得られることが測定の条件となる³⁾。

今回測定対象に選んだ I₂ の吸収線は 500-700 nm にあり⁴⁾、かつ適当な強さの吸収線があることから DIAL による測定が有効であると考えた。

3. 差分吸収法によるヨウ素濃度測定シミュレーション

はじめに原発事故が起きた直後の大気中への¹³¹I の放出速度を推定する。文献 2 の報告書によると福島原発事故において短時間に最も大量に放射性物質が放出されたのは 2011 年 3 月 16 日 10:00~13:00 の第 2 号機からである。このイベントにおいて放出された¹³¹I の Bq 値は Table 1 から 1.6×10^{17} [Bq] である。I₂ の比放射能の値は 4.6×10^{15} [Bq/g] であり、ヨウ素原子の 50% が I₂ 分子として存在すると仮定し、このイベントが主に 20 分起こったとすると、ヨウ素分子の放出速度は 1.1×10^{19} [個/s] と推定される。

この値と平均風速を 2[m/s] とし、煙突からの煙の拡散計算に用いられるブルーム式⁵⁾を用いて拡散シミュレーションを行った。Fig. 1 に放出口からの距離に対する水平方向に積分した視線方向の column abundance の計算結果を示す。なお拡散パラメータは SO_x の排出基準の計算で用いられる値を用いた。

次に Table 2 に示すパラメータのヨウ素測定用 DIAL による測定誤差の計算を行った。その結果、事故により拡散していく I-131 を含んだブルームを横方向に 100m 離れた地点からライダーで観測する際、放出口から 1000m 近く離れた地点まで拡散した I-131 ブルームを 10% 以下の統計誤差で観測することが可能であることがわかった。

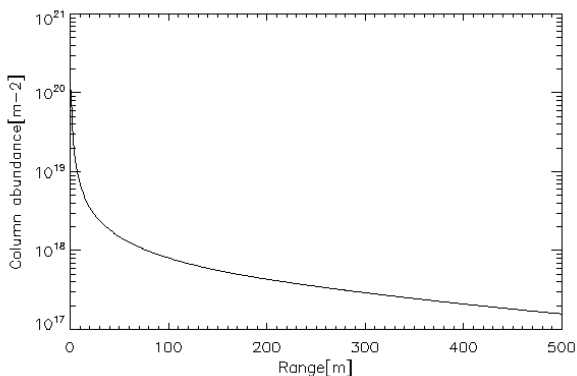


Fig.1 Column abundance of Iodine for distance from the exhaust port.

Table 2. Parameters of differential absorption lidar for iodine measurements

Receiving mirror diameter	Φ 0.35[m]
Laser wavelength	On:533[nm] / Off:532 [nm]
Laser pulse energy	100[mJ]
Range resolution	10[m]
Repetition frequency	100[Hz]
Measuring time	1[min]
Optical efficiency	0.1
Absorption cross-section ³⁾	On: 4.24×10^{-22} [m ²], Off: 0

4. まとめ

シミュレーション結果より、放出口から 1 km 程度離れた場所からでも DIAL により放射性ヨウ素の計測が可能であることが示された。今回のシミュレーションでは風速を 2m/s と仮定しているが、実際の事故発生時には、風向風速により拡散方向や濃度分布が大きく異なる。今後風向風速が変わっても十分観測が可能な DIAL の配置やスキャン観測の方法など、より実際的なシミュレーションを行う必要がある。

参考文献

- 1) 原子力災害対策本部：原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書-東京電力福島原子力発電所の事故について (2011)
- 2) 東京電力株式会社：福島第一原子力発電所事故における放射性物質の大気中への放出量の推定について(2012)
- 3) R.M. Schotland: : Proc. 3rd Symp. on Remote Sensing of Environment, 215 (1964)
- 4) A. Saiz-Lopez, R. W. Saunders, D. M. Joseph, S. H. Ashworth, and J. M. C. Plane : Absolute absorption cross-section and photolysis rate of I₂ (2004)
- 5) 岡本真一 塩沢清茂:拡散モデルと大気汚染シミュレーション (1977)