



ライダー開発事始め

千葉大学 大学院工学研究院 先進理化学専攻 准教授
椎名達雄 SHIINA, Tatsuo
(当協会 オプトメカトロニクス技術委員会 委員)

<キッカケ>

空に憧れてパイロットを夢見ていたが、自身で操縦するライダーに酔ってしまうことがわかった。何度やっても慣れない。それでとうとう断念した。それならと研究者の道を目指したのだが、入った研究室で初めてライダーを見た。とても古いライダー装置だった。ルビーレーザーを使い、1分に1回、ジャイアントパルス(数十 MW = 数百 mJ / 十数 ns)を発射し、大気を計測するものだった。それは研究が終わってずいぶん放置されていたものだった。それに飛びついた。まだ空への憧れが捨てきれいでなかったからだ。研究を始めてわかったことは、レーザーも PC も装置も全く動かない。何をどう直したらいいのかもわからない。教授は全く教えてくれず、離れた建物屋上の観測室にある装置を見てもくれない。ふてくされて研究をサボったりもしたが何も解決しない。レーザーの知識も、ましてルビーレーザーの知識もなく、ただ分解しては動作を試みて、を繰り返した。結局レーザーの販売元にフラッシュランプの交換と Q スイッチ用の回転プリズムミラーを調整する様子を見させてもらい、初めてレーザー発振を見た。とても感動した。この光が自分の手が届かない高いところまで飛んでいって、しかも帰ってくるのを捕まえるのだ。レーザーの次に装置の修理を始めた。接触不良を一つづつクリアしていった。PC (Fujitsu FM-77) を分解して修理した。エコー波形記録装置の回路図を自分で起こし、装置の A/D 回路から Memory へのデータフローを追って、またまた接触不良をクリアしていった。ようやくデータが取れるようになったのは年末もギリギリの年の瀬だった。

その古いライダー装置を使ってデータを取り、修士、博士課程へと進んでいった。大気の減衰係数を算出し、特に悪天候下での視程算出を補正する研究だった。色々大変だったが、ライダー装置の調子を見るのが最も大変だった。朝早起きして霧が出ていると急いで研究室に急行するが肝心の装置が動かないなんてザラだった。その度にバラして修理して、を繰り返した。

<助手時代>

大学の助手ポストを得るのにも苦労したが、どうにか理工学部を新設した地方大学に職を得た。新設の学科で研究室は空っぽ。そこでライダーを作ろうとした。教授に直談判したはいいが、装置がない。何もない。初めて研究助成の申請書を書いた。資金集めもさることながら、学生時代に国際会議に参加して痛感したことは自身のライダーがあまりに時代遅れだったことだ。ルビーレーザーを使っていた研究者なんておらず、唯一雲物理の世界的な権威の先生が過去の話として聞けたくらいだった。だから、新しいライダーを作りたかった。当時誰でもいつでも使えるライダーの謳い文句で MPL (Micro Pulse Lidar) が出始めた頃だった。送信光出力を数十 μJ (/ 数 ns = 数十 kW) としたライダーだ。 μJ の光出力で積算回数を増やして大気エコーの信号対雑音比を稼ぐ方式である。DPSS (Diode Pumped Solid State) laser が小さくてお手頃に見えた。やっと手に入れた Spectra Physics の DPSS laser はとても高価で、何年にも分割して払うことで購入した。若かったから、無知だったから、そんな芸当ができたのだと思う。それで文献をもとに見よう見まねで MPL を作り始めた。受光器には

APD(Avalanche Photo Diode)を使ったが、ライダー用モジュールはとてつもなく高い。なので、APD素子のみを買って高電圧回路を自作した。APDはBreak Down電圧のギリギリで感度が急激に高くなる。そこを狙って高電圧を調整するのだが、素子温度でその感度が変わる。ペルチェの温度調整回路も自作した。雲を観測して豪雨の予兆を捉えることが研究の趣旨だったが、雲からのエコーがなかなか取れない。ある日、学生がbreak down電圧のギリギリもギリギリ、自分では素子を壊しそうでかけられない電圧をかけてようやく計測ができるようになった。装置を作り始めて4年かかった。

<移籍後>

大学を移籍し、研究活動の幅が広がった。研究助成への申請も板につき、科研費も通るようになった。まとまった予算がつき、大型のライダー装置も作った。Nd:YAGレーザーで雷雲を測る、そんな研究を行なった²⁾。ただ、やはり装置の光学系維持が大変だった。地震があると光軸がずれる。気温や環境変化でも調整が生じる。学生も次々入れ替わるため、その度に調整を行うが何とも危なっかしい。何とかならないか考えたのが、ミニライダーだった。LEDをパルス光源とした手で抱えられるくらいの小さなライダー。学生の教育目的で、もちろん計測距離もうんと短くして、数百mくらいのも。ライダー方程式を使って理論的な解析を行うと満更でもなく、LEDの光出力でも大気エコーが計測できそうだった。それで研究を始めた。LD(Laser Diode)でも良かったが、簡単に光って、取扱いも楽だから、LEDを選択した。光のパルス出力が数nJ(/10ns = <1W)で大気からのエコーをとる。短パルス化する回路を自作し、市販のホトンカウンター(SRS社製 マルチチャンネルスケーラー)を借りて大気を計測した。15分積算してようやく100mほどの大気エコーが得られた。本当に計測できたと、それだけでも喜びだったが、やっぱりもっと速く計測したい。そのためには専用のホトンカウンターが必要になった。パルス光の繰り返し周波数をどんどん上げる。もともと近距離を計測するため、光速との兼ね合いで、150mの計測距離で繰り返し周波数は1MHzまで上げられる。その繰り返し周波数に追従して距離分解した大気エコーのホトンカウンティングを行う。FPGAボードで学生と試し組みをして動作を確認し、共同研究先の会社に実用的なものを作ってもらった。それによって積算時間0.2s、距離分解能0.15m(=1ns)で大気の挙動が捉えられるようになった³⁾。

そこで気がついた。ジャイアントパルスで高層の大気を計測するは長時間の積算ができるからだ。大気は高度に比例して空気のセル(かたまり)の大きさが形成される。従って高層の大気ほど大きな空気のセルを形成し、ゆっくりとした変化をとる。だから雲はゆっくり形を生成、変化させていく。一方、地上に近くなるほど空気のセルも小さくなる。その動きも小さく急峻になる。だからビル風や煙の拡散もはやく複雑になる。つまり、地上に近い大気を可視化させるためには、より速い計測間隔で捉えなければならない。時空間スケールの小さな挙動を捉えるために、大きなライダーを小さなライダーで置き換えるだけでは十分でなく、高速高分解なライダーが必要になる。LEDライダーははからずもその要求を満たしたことになる。

そこから積極的に近距離の大気計測を主とした研究を展開した。波浪と表層大気の相互作用やダストの飛散状況を可視化させたり、霧の時間挙動をモニタしたり⁴⁾、煙の拡散や局所的な風場のモニターにも発展した⁵⁾。偏光計測やRaman散乱、蛍光計測といった機能化も手がけ、水素ガスの漏洩検知や藻場の生育状況把握への応用にも広がった⁶⁾。福島原発事故の事後処理への適用やコロナ禍を挟んで閉所内大気のモニタリング技術にも関心が高まったことがミニライダーの展開に繋がった。

大気用ライダーは製品化の流れが遅い。風計測を目的に空港に設置されているドップラーライダーこそ広く普及しているが、大気計測用途では黄砂予報にも利用される柴田科学社製ライダー⁷⁾、ならびに雲底高度を計測するVaisala社製のシーロメータくらいだろうか⁸⁾。車載用途のハードターゲット用LiDARと比べてもとても少ない。理由の一つにはジャイアントパルス光を利用するため専門性の高い装置となることが挙げられる。それならば近距離を対象とした安全性の高いミニライダーでこの課題はクリアできるだろう。表層大気やガスの挙動可視化、定量評価は新しい産業シーズとしての価値を持ち始めている。

参考文献

- 1) T. Shiina, K. Yoshida, M. Ito, and Y. Okamura, *Applied Optics*, 44(34), pp.7407-7413, 2005
- 2) T. Shiina, K. Noguchi, and T. Fukuchi, *Applied Optics*, 51(7), pp.898-904, 2012
- 3) T. Shiina, *MDPI Sensors*, 19, pp.569-581, 2019
- 4) 椎名, *レーザー研究*, Vol.48 No.11, pp.604-608, 2020
- 5) K. Okubo, N. Lagrosas and T. Shiina, *Scientific reports*, 13, 4086, 2023
- 6) J. G. Cadondon, T. Shiina, *MDPI Photonics*, 10(2), 2019)
- 7) <https://www.sibata.co.jp/item/57/>
- 8) <https://www.vaisala.com/ja/products/weather-environmental-sensors/ceilometers-CL31-CL51>