

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 10 月 11 日現在

機関番号：62611

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22654057

研究課題名（和文）金属原子層の通信利用への挑戦－遠隔地無線通信と超高層大気観測の両立をめざして－

研究課題名（英文）Challenge for communication through metallic atom layers-observation of the upper atmosphere and communication to the remote place-

研究代表者

中村 卓司 (NAKAMURA TAKUJI )

国立極地研究所・研究教育系・教授

研究者番号：40217857

研究成果の概要（和文）：

高度 100 km 付近には、ナトリウム原子、鉄原子など様々な金属が原子状態で存在する金属原子層がある。本研究では、この層に地上からレーザー光を照射して、遠隔地との通信を行うと同時にこの付近の高度の大気の様子を調べる大気観測を行うことのできるシステムについて、首都大学東京と国立極地研究所の 5.3 km 離れたキャンパス同士で送受信実験を行い、また観測法/通信法を詳細に検討を行って、実現可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：

Metallic atom layers at around 100 km altitude are the layers of atomic metals such as sodium, iron etc. A system which can be used for telecommunication as well as atmospheric remote sensing observation was proposed and experiments were carried out between TMU (Tokyo Metropolitan University) and NIPR(National Institute of Polar Research).The distance was 5.3 km. Basic experiment of transmission and reception was executed, and further investigation of the observation and communication methods have proved that such a system is feasible.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,800,000	0	1,800,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	2,800,000	300,000	3,100,000

研究分野：超高層物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：中間圏下部熱圏・金属原子層・共鳴散乱ライダー・バイスタティック・無線通信

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、レーザーによる中層・超高層大気の大気観測研究を皮切りに、観測手段を電波から光に拡大し、大気光観測、ライダー観測などを自らも行いつつ、協同観測として下は地上から上は下部熱圏まで、すなわち地上から高度 120 km までの大気の力学・組成・構造を観測研究してきた。とくに近年発展著しいライダー観測技術では、ラマンライ

ダーによる温度や水蒸気の観測を行ってきたほか、共鳴散乱ライダーとレーザーやイメージャとの共同観測による熱圏下部の微細構造や不安定構造、混合イベントなどを研究し国際的な成果を挙げている。共鳴散乱ライダーについては、固体レーザー技術の進展により、これまでに比べて非常に小型かつ調整等も容易な安定な装置の開発が可能となってきた。そのような中で、これまでのパルスラ

ライダーとは異なり、パルス符号を連続的に送信して受信信号処理で観測対象の高度分布を計測するCWライダー技術が注目されてきた。CWライダー技術は、CW（連続）波を振幅あるいは位相変調して受信信号と送信信号の相関を取ることにより高度分布を計測する技術であり、電波でいえばパルスライダー（例：MUライダー）と、GPS衛星電波の掩蔽観測のような対応関係が、パルスライダー（通常のライダー）とCWライダーの間にある。我々は、この点に注目し、ライダーでCW波を使うのであれば、変調信号で通信ができるのではと考えるに至った。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、共鳴散乱ライダー技術を情報通信に活かすべく、その具体的実施方式について検討し、実際に実験システムを構築して高度100kmの金属原子による光の共鳴散乱で遠隔地との通信実験を行い、その伝送能力や付加的に得られる大気情報などを実験的に明らかにするとともに、将来金属散乱通信システムと超高層大気のリモートセンシングを共用した「通信+リモセン」システムを構築する方法を提案することを目標とする。ともかくも机上の提案に現実的なフィジビリティ検討を加え、それを実験検証を行うことが最大の目標である。

## 3. 研究の方法

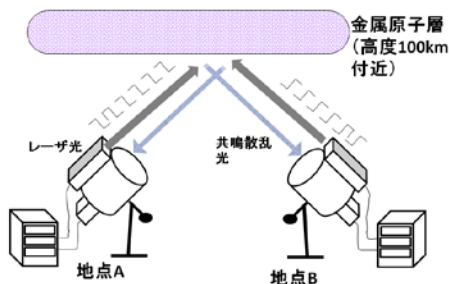


図1 共鳴散乱通信および観測システムの概念図

システムを構成するにあたり、これまでの共鳴散乱ライダーの観測研究の経験と知識を活かして共同研究で検討・設計する。また、国立極地研究所および首都大学東京が所有するライダー観測のための設備（レーザー、大型望遠鏡）を利用し、変復調システムおよび送受信の制御のための架台・ガイド望遠鏡、同期装置等の付加設備を開発することで、金属散乱層による共鳴散乱を用いた遠隔地通信システムのプロトタイプを構成し、データの伝送のための実験を行い、同時に超高層大気の変動とその通信への影響も観測し検討する。また、通信観測実験を評価し、その結

果将来の通信および観測の混合システムの提案を行う。

## 4. 研究成果

(1) 変復調部の開発：半導体レーザー等のCW（連続波）レーザーを用いて超高層大気観測およびデータ通信を行うためのパルス変調方式を検討した。検討は、とくにM系列の符号列のうちの2つを交互に正負を反転して用いて送信方式について、現実的な送信パワーと望遠鏡の性能を考えて行った。その結果、夜間については十分なS/Nで大気観測および通信が可能なが示され、昼間については視野を狭く(0.1ミリラジアン以下)する必要があることが示された(図2)。併せて、モノスタティックなライダー観測についてもCW（連続波）ライダーの検討を行い、とくに航空機搭載のような送受信間の小さいシステムではビーム重なり関数を制御することの重要性を指摘した。本成果については研究協力者(海外共同研究者)のShe教授が客員教授として来日中に論文執筆し出版した。

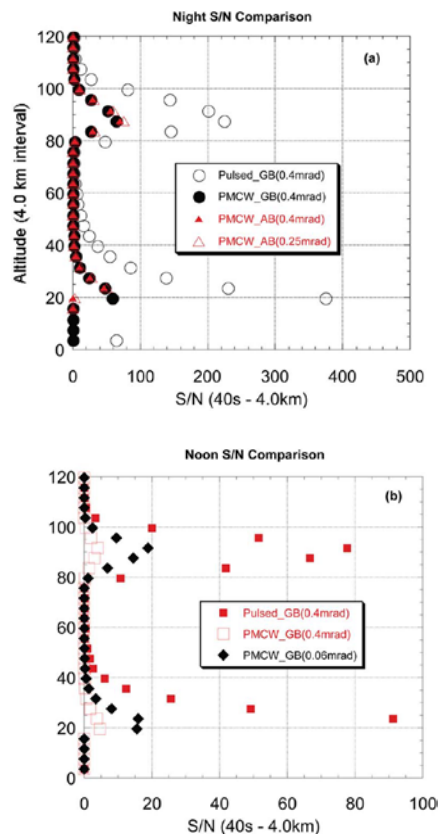


図2 M系列によるナトリウムCWライダーのS/N比検討。左は夜間、右が日中。夜間のCWライダーはS/Nはほとんど変化がないが、昼間は視野が広い(□)と

(2) 送受信システムの制御：送信点におけるレーザービームの方向と受信点における受

信望遠鏡の方向を正確に合わせる方法について検討し、レーザー光を水面を使って鉛直上方校正し、受信システムでは望遠鏡の視野を恒星を用いて校正する方法を用いることで十分な精度で送受の方向を合わせたシステムが得られることを実証した。さらに、送受信点間の同期を取る方法については、自己同期、外部同期の双方を検討し、GPS(汎用測位システム)衛星の信号を用いて外部同期を取る方法を選択し、制御システムを開発した。これらを用いて国立極地研究所(立川)と首

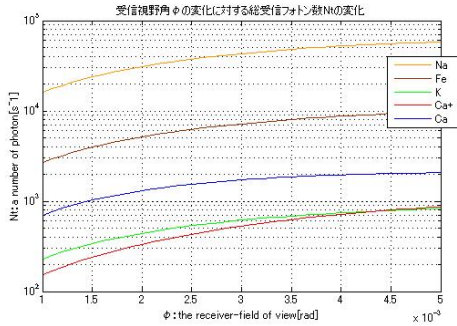


図3 CW ライダーによる種々の金属原子からの散乱信号フォトン数見積もり。横軸は望遠鏡の視野

都大学東京(日野)の間でシステムの同期を取ることに成功した。

(3) 総合試験とシステム提案: 首都大学東京からレーザー光を放射し、国立極地研究所で共鳴散乱光の受信を行う実験を行い、距離5.3km離れた2点間での通信および金属原子密度観測の基本的セットアップを検証した。今回はレーザーの制限等から伝送速度を求める統計的な値を得るには至らなかったが、信号強度から見積もった通信速度は、出力1.5Wのナトリウム原子用レーザーを用いて約3.6kbps、出力10Wであれば約24kbpsの通信

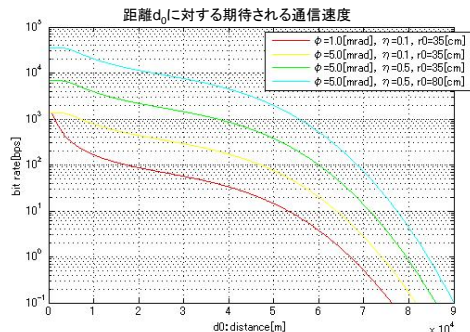


図4 各距離における情報通信速度の推定値。

が可能と見積もられた(図3,4)。

#### (4) まとめ

本研究では、高度100km付近の金属原子層に符号化したCWレーザー光を照射して超高層大気の観測と通信の双方に用いることができるシステム開発の検討を行い、実験を行った。M系列符号によるCWレーザーによる大気温度観測法検討と誤差見積もり、視野の決め方および較正方法、送受信間の同期システム等に検討および実験を行い、基本的なシステム構成とその性能を見積もった。今回は簡単なシステムでの実験に留まったが、今後は実用化に向けた本格実験を行うことが期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

(1) She, C.-Y., M. Abo, J. Yue, B. P. Williams, C. Nagasawa, T. Nakamura, Mesopause-region temperature and wind measurements with pseudorandom modulation continuous-wave (PMCW) lidar at 589 nm, Applied Optics, 査読有, 50巻, 2011, 2916-2926

[学会発表] (計8件)

- (1) 中村 卓司, 南極昭和基地におけるライダー観測, 理研シンポジウム「レーザーによる環境計測」, 2012年2月24日, 和光市
- (2) 阿保 真, 中村 卓司, 江尻 省, 鈴木秀彦, 三浦 夏美, 山本 衛, 共鳴散乱ライダーによる中間圏カルシウムイオンの観測, 第16回大気ライダー観測研究会, 2012年2月23日, 秋葉原
- (3) 江尻 省, 中村 卓司, 阿保 真, カリウム共鳴散乱ライダーによる3周波温度観測のための最適観測周波数の検討, 第130回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会, 2011年11月3日~11月6日, 神戸
- (4) 原 貴洋, 阿保 真, 中村 卓司, 江尻 省, 鈴木 秀彦, 中間圏界面金属原子の共鳴散乱を利用したレーザー光通信, 第130回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会, 2011年11月3日~11月6日, 神戸
- (5) 江尻 省, 中村 卓司, 阿保 真, カリウム共鳴散乱ライダーによる3周波観測のための最適観測周波数検討, 第29回レーザーセンシングシンポジウム, 2011年9月8日, 七尾

- (6) 中村 卓司、江尻 省、川原 琢也、  
Na 層コラム総量の大气波動による変動  
と流星群による増加, 第 28 回レーザー  
センシングシンポジウム, 2010 年 9 月 9  
日, 琵琶湖グランドホテル、大津市
- (7) Takuji Nakamura, Mitsumu K. Ejiri, Ta  
kuya D. Kawahara, Significant enhan  
cement of Na column density due to  
Geminid meteor shower, 38th COSPA  
R (Committee on Space Research) Sc  
ientific Assembly, 2010年7月18-25日  
Messe Bremen, Bremen, Germany
- (8) Takuji Nakamura, Mitsumu K. Ejiri, and  
Takuya D. Kawahara, Enhancement of Na  
column density due to Geminid meteor  
shower observed by a resonance  
scatter lidar, Meteoroids 2010, 2010  
年 5 月 27 日, Breckenridge, CO, USA

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中村 卓司 (NAKAMURA TAKUJI)  
国立極地研究所・研究教育系・教授  
研究者番号：40217857

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

阿保 真 ( ABO MAKOTO)  
首都大学東京・システムデザイン研究科・  
教授  
研究者番号：20167951

江尻 省 (EJIRI MITSUMU)  
国立極地研究所・研究教育系・助教  
研究者番号：80391077

### (4) 研究協力者 (海外共同研究者)

Chiao-Yao She (SHE CHIAO-YAO)  
コロラド州立大学・教授  
2010 年度 国立極地研究所・客員教授

Jia Yue (YUE JIA)  
米国国立大気科学研究所・研究員

### (5) 研究協力者

原 貴洋 (HARA TAKAHIRO)  
首都大学東京・システムデザイン研究科・  
院生