

## 衛星搭載ライダーの現状と将来に関する調査報告書について

内野 修<sup>1</sup>, 石井 昌憲<sup>2</sup>, 阿保 真<sup>2</sup>, 西澤 智明<sup>3</sup>, 岡本 幸三<sup>1</sup>, 岡部 いづみ<sup>1</sup>, 岡本 創<sup>4</sup>,  
勝俣 昌己<sup>5</sup>, 勝山 杜都<sup>6</sup>, 亀山 俊平<sup>7</sup>, 久世 宏明<sup>8</sup>, 酒井 哲<sup>1</sup>, 境澤 大亮<sup>9</sup>, 柴田 隆<sup>10</sup>,  
柴田 泰邦<sup>2</sup>, 神 慶孝<sup>3</sup>, 津田 卓雄<sup>11</sup>, 中里 真久<sup>12</sup>, 長澤 親生<sup>2</sup>

<sup>1</sup>気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

<sup>2</sup>東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

<sup>3</sup>国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

<sup>4</sup>九州大学 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

<sup>5</sup>海洋研究開発機構 (〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15)

<sup>6</sup>ASTROFLASH (〒113-0033 東京都文京区本郷 4-1-3 明和本郷ビル 7 階)

<sup>7</sup>三菱電機(株) 情報技術総合研究所 (〒247-8501 鎌倉市大船 5-1-1)

<sup>8</sup>千葉大学環境リモートセンシング研究センター (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

<sup>9</sup>宇宙航空研究開発機構 (〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1)

<sup>10</sup>名古屋大学 (〒464-8601 愛知県名古屋市中千代区不老町)

<sup>11</sup>電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1)

<sup>12</sup>長崎地方気象台 (〒850-0931 長崎県長崎市南山手町 11-51)

### Report on the current status and future of spaceborne lidar

Osamu UCHINO<sup>1</sup>, Shoken ISHII<sup>2</sup>, Makoto ABO<sup>2</sup>, Tomoaki NISHIZAWA<sup>3</sup>, Kozo OKAMOTO<sup>1</sup>,  
Izumi OKABE<sup>1</sup>, Hajime OKAMOTO<sup>4</sup>, Masaki KATSUMATA<sup>5</sup>, Morito KATSUYAMA<sup>6</sup>,  
Syunpei KAMEYAMA<sup>7</sup>, Hiroaki KUZE<sup>8</sup>, Tetsu SAKAI<sup>1</sup>, Daisuke SAKAIZAWA<sup>9</sup>, Takashi SHIBATA<sup>10</sup>,  
Yasukuni SHIBATA<sup>2</sup>, Yoshitaka JIN<sup>3</sup>, Takuo TSUDA<sup>11</sup>, Masahisa NAKAZATO<sup>12</sup>, Chikao NAGASAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052

<sup>2</sup>Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

<sup>3</sup>National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

<sup>4</sup>Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi, Fukuoka, Fukuoka 819-0395

<sup>5</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsusima, Yokosuka, Kanagawa 237-0061

<sup>6</sup>ASTROFLASH Corporation, Meiwa Hongo Building 7F, 4-1-3 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033

<sup>7</sup>Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501

<sup>8</sup>CERES, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522

<sup>9</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505

<sup>10</sup>Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601

<sup>11</sup>University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585

<sup>12</sup>Nagasaki Meteorological Office, 11-51 Minamiyamate, Nagasaki, Nagasaki 850-0931

Abstract: We report an overview of the 'Research Report on the Current Status and Future of Spaceborne Lidar' by the Project Research Committee on Spaceborne Lidar.

**Key Words:** spaceborne lidar, coherent wind lidar, cloud and aerosol HSRL, water vapor DIAL

### 1. はじめに

衛星搭載ライダーは、パッシブセンサーでは達成できない高い高度分解能で森林の樹高、雲・エアロゾル特性、風向・風速、水蒸気などが地球規模で観測できることから、天気予報や気候モデルなどの改良、気候変動の理解と予測、炭素循環の監視等に多大な貢献が可能である。さらに観測や予測の結果を基に適切な対応策をとることにより、減災や経済的で安全・安心な社会につながっていくことから、衛星搭載ライ

ダーに関するプロジェクト調査委員会を企画し、2019年4月にレーザセンシング学会（以下、本学会と略す）の理事会でその設置が認められた。これまでに各ミッション提案に関する科学的目的や技術的課題などについて多くの議論を委員会の中で重ねてきた。その成果の一つとして、本学会誌1巻2号（2020年10月30日発行）に衛星搭載ライダーに関する特集号が組まれた。さらに、その後の3年間の議論を基に衛星搭載ライダーの海外及び日本の現状と将来に関する調査報告書を作成することとした。ここではその概要について報告する。

## 2. 海外の現状と将来

NASAとCNESが共同開発したCALIPSO衛星は、2006年から波長1064 nmと532 nmにより全球のエアロゾル・雲の高度分布の観測を3年間の設計寿命をはるかに超える17年間にわたって行ってきたが、2023年8月に燃料の枯渇によりCALIPSOミッションは終了した。CALIPSO/CALIOPについてのこれまでの全球のエアロゾルや雲の高度分布の観測とその科学的成果について報告書の2.1.1で詳述されている。

ESAによって開発された世界初のインコヒーレントドップラー風ライダーAeolusは2018年10月に打ち上げられ、対流圏と下部成層圏の風を測定してきたが、予定寿命を超えた2023年7月にミッションを終了した。Aeolusによって測定された風データはECMWFの現業の数値予報などに利用されその有用性が確認された。これについては2.2.2で詳しく報告されている。Aeolusの後継機Aeolus-2については、ESAとEUMETSATが協力して2基のEPS-Aeolusにより10年以上の観測を計画している。

氷床高度などを測定する極軌道衛星ICESAT-2や森林の樹高を測定する国際宇宙ステーション搭載のGEDI<sup>1)</sup>はそれぞれ2018年9月と12月に打ち上げられ観測を行ってきたが、GEDIは2023年3月に一旦観測を中止して2024年4月から観測を再開し、2030年までデータを収集することを目指している。一方、中国では2022年4月に波長1572 nmによるIPDA(Integrated Path Differential Absorption)でCO<sub>2</sub>カラム量を、ヨウ素ガスセルを用いたHSRL(High Spectral Resolution Lidar)でエアロゾルを測定するACDLが打ち上げられた。

欧州と日本が協力して開発した波長355 nmのHSRLと雲レーダを用いてエアロゾルや雲の高度分布を観測するEarthCAREは2024年5月29日に打ち上げに成功した。EarthCAREについては2.1.3で記述されている。また、CNESとDLRの協力によりメタンのカラム量を測定するMERLINは2028年に打ち上げ予定となっている。これらの衛星搭載ライダーのハードウェアについては2.2でまとめて記述される予定である。

NASAは大気観測システムAOSによりエアロゾル・雲・対流・降水の観測を行う計画がある。この中で波長532 nmと1064 nmのライダーが含まれている。ASI(イタリア宇宙庁)では3波長(355 nm, 532 nm, 1064 nm)の後方散乱と偏光解消度、450-460 nmの蛍光を測定するCALIGOLAを計画し、これまでに前例のない観測データセットを収集することを目指している。

## 3. 日本の現状と将来

すでに本学会の衛星搭載ライダーに関する特集号で報告されたように、日本では森林の樹高を測定しバイオマス量を推定するためのMOLIの研究開発がJAXAで進められている。MOLIによる地表面高度の測定は民間などからも期待されている。また、コヒーレントドップラーライダーによる風観測、HSRLによる雲・エアロゾル・鉛直風の測定、差分吸収法ライダー(DIAL)による水蒸気の観測がそれぞれのミッション提案者や委員会で議論されてきたが、それについては第3章で詳しく述べられている。

## 4. おわりに

MOLIは既にJAXAで研究開発が行われているのでこの調査報告書では特に取り上げなかった。コヒーレントドップラーライダーによる風観測、HSRLによるエアロゾル・雲・鉛直風の測定、DIALによる水蒸気の観測の各ミッション提案は海外には見られない特徴を有している。直接検波による衛星からの全球風観測はすでにAeolusで行われ、そのデータの数値予報への有用性が示された。コヒーレント検波による風観測の提案は現在日本独自のものである。NASAのAOS計画ではHSRLはコスト増の関係で見送られたが、日本で提案されている雲・エアロゾル観測ではHSRLを用いて、さらに可能ならば鉛直と広い受信視野角での多重散乱の観測を行うことを目的として研究開発を進めている。水蒸気DIALでは海面などからの反射を利用したIPDAの技術を用いて線状降水帯の予測に重要な高度2km以下の水蒸気観測を目指して検討が進められている。

これらのミッションを実現するための今後開発すべき技術や課題については小委員会の報告の中で取りまとめていくこととなっているが、ミッションを実現するための方策として国内の衛星観測に関する活動の現状についても報告されている。