

2016年12月19日

# レーザーレーダ研究会・調査委員会報告

## (第一次報告)

レーザーレーダ研究会・調査委員会

### 目次

1. はじめに .....	2
2. ライダー技術の動向 .....	2
2. 1. レーザセンシングシンポジウム .....	2
2. 2. 日本気象学会 .....	5
2. 3. 応用物理学会 .....	6
2. 4. AGU .....	6
2. 5. SPIE .....	10
2. 6. ILRC .....	13
2. 7. 風力発電関連学会 .....	14
2. 8. 国際標準化の動き .....	19
3. 今後期待されるライダー技術研究課題例 .....	21
3. 1. イメージングライダー技術 .....	21
3. 2. 海洋ライダー .....	22
3. 3. 宇宙空間における紫外域レーザーの損傷リスク軽減に 関する研究 .....	24
3. 4. 水蒸気測定ライダーの開発 .....	24
4. 大規模プロジェクト研究として推進すべき課題例 .....	25
4. 1. 衛星搭載ライダー .....	25
4. 2. 航空機搭載ライダー .....	31
4. 3. ネットワークライダー .....	33
4. 4. ライダーネットワーク .....	35
5. まとめ .....	38
執筆者名簿 .....	38

## 1. はじめに

レーザレーダ(ライダー)技術はレーザの誕生後、早々に黎明期を迎え、以後およそ半世紀にわたり順調に発展してきた。今日では衛星搭載ライダー、地上設置の諸観測ライダーから一般車両搭載の車間計測用ライダーに至るまで、その応用範囲は確実に広がっている。しかしながら、日本におけるライダー技術分野の発展と普及に先導的な役割を担ってきた本「レーザ・レーダ研究会」の活動は、近年必ずしも活性化しているとはいえない。

この状況に鑑み、2015年レーザ・レーダ研究会内に、研究会の活性化を目指す活動の一環として、本「調査委員会」が設置された。本委員会の目的は、近年の国内外のライダー関連の研究発表を俯瞰し、その潮流を分析し、将来的に周辺分野や社会から期待されるライダー技術を集約し、技術動向を探るものである。ここに、本委員会できりまとめた内容を報告する。

## 2. ライダー技術の動向

ライダー技術の動向を把握するために、ライダー分野に関連する国内外の学会・研究会・国際会議において近年発表された研究報告から技術動向を分析した。ただし、調査に遡った年数は対象により異なる。

### 2. 1. レーザセンシングシンポジウム

レーザセンシングシンポジウムの発表論文の傾向を調査するために、1985年の第10回から2016年の第34回まで過去32年間の論文の発表件数について、発表タイトルから以下のように分類して調べた。但し特別講演は除外している。

- ・大気ライダー観測(対流圏・雲・ミーム散乱、成層圏・中間圏・高層大気)
- ・飛行体観測(衛星・航空機、CALIPSO)
- ・ライダー技術(ラマン・HSRL、DIAL・DAS、ヘテロダイン・ドップラー、新技術、信号処理・解析、蛍光)
- ・要素技術(レーザ光源、光検出器・素子)
- ・光センシング(光計測・ファイバ・センサ、分光、測距・光伝搬・通信)
- ・関連技術(天文・望遠鏡・ミリ波・光応用・標準)
- ・その他提案・報告(括弧内は小分類)

はじめに全体の件数と大分類の推移を、次いで各小分類の推移の図を示す。各回のバラツキをならし見やすくするために、3回の移動平均をとっている。全体の件数は1995年までは右肩上がりであったが、その後減少から横ばいに転じ、2011年～2014年は大きく減少した。

「大気ライダー観測」は1991年から1997年にかけて倍増したがその後は緩やかな減少傾向にある。増加には、ピナツボ火山噴火を契機として、国内にラ

ライダー観測網が広がったのが1つの要因であると考えられる。「飛翔体観測」は1992年以降ほぼ横ばいである。衛星や航空機観測ライダーの継続的な取り組みが行われていることを示している。

「ライダー技術」は全体に増加傾向であるが、2010年から2012年にかけて一時減少し全体の件数減少に影響を与えている。内訳では、1995年から2003年にかけての「ヘテロダイン・ドップラー」の件数増加、その後2004年から2008年にかけての「DIAL・DAS」の件数増加、1993年以降の「蛍光」のコンスタントな増加が目立つ。

「要素技術」は1992年をピークにその後1/3まで大幅に減少し増加の兆しがない。これは「レーザ技術」がピークの1/4まで減少した影響が大きい。

「光センシング」「関連技術」は1992年をピークにその後漸減したがこの2年で増加の兆しがある。内訳では「分光」や「関連技術」が徐々に減り一時期0件になったのが目立つ。「測距・光伝搬・通信」は2005年以降減少が続いているが、「光計測・ファイバ・センサ」は2011年以降増加の兆しがある。

以上を総括すると、1995年から2001年にかけての減少は、レーザ技術の件数現象の影響が大きい。これは、レーザ技術が成熟しつつあることの現れとも考えられるが、ライダー研究者が純粋なレーザ開発からライダー観測や応用へと進んでいく過程とも考えられる。一方2011年以降の減少は、ライダー技術の件数減少が大きい。これもライダー技術の成熟と見ることも出来るが、根本的には国内におけるライダー開発に従事する研究者の減少が主因と考えられる。最後に個々数年の増加は、研究会活性化の取り組みの成果であるが、その中身は、従来のライダー以外の光センシングや関連技術の件数増加の寄与が大きい。

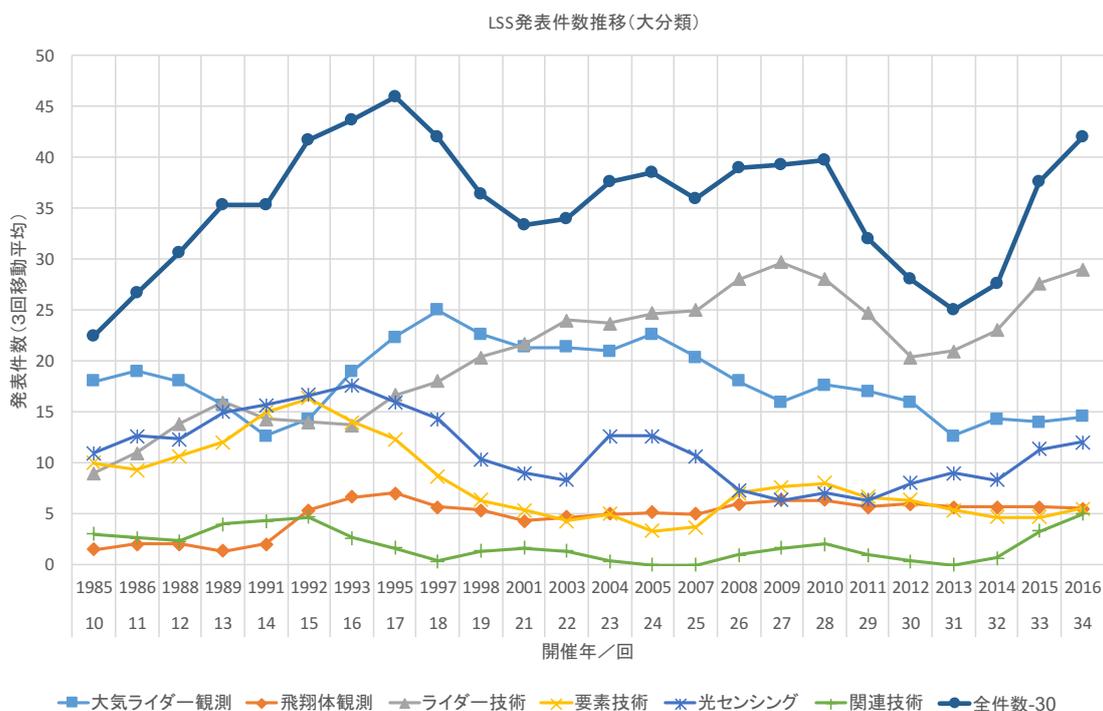


図 2.1.

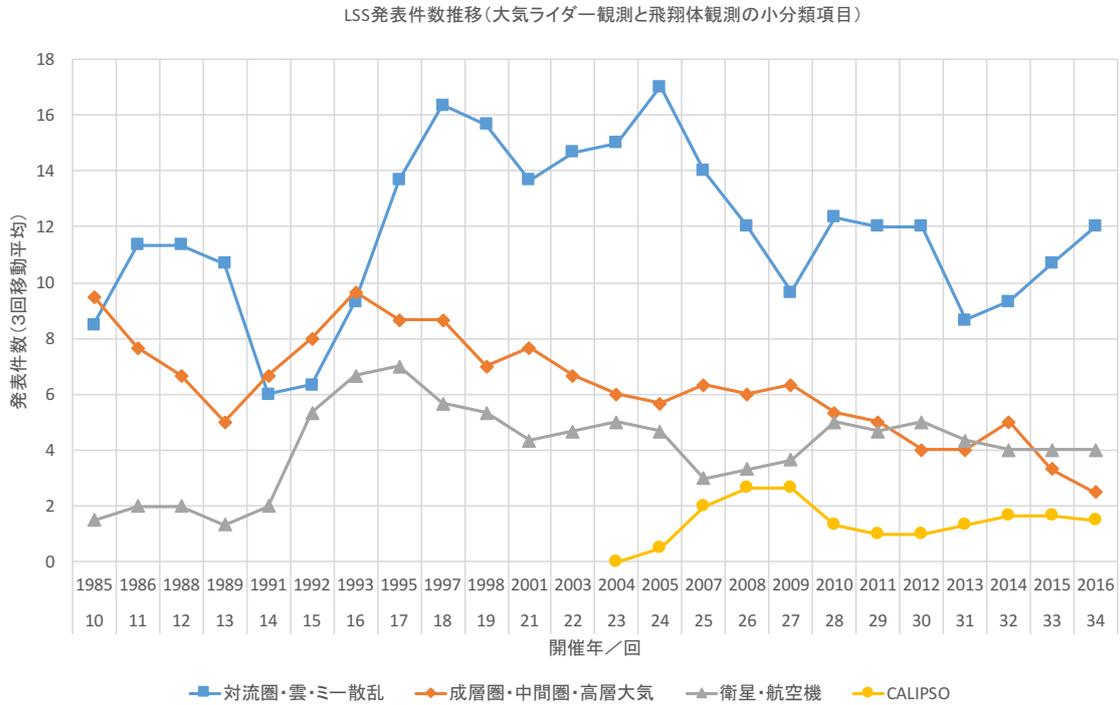


図 2.2.

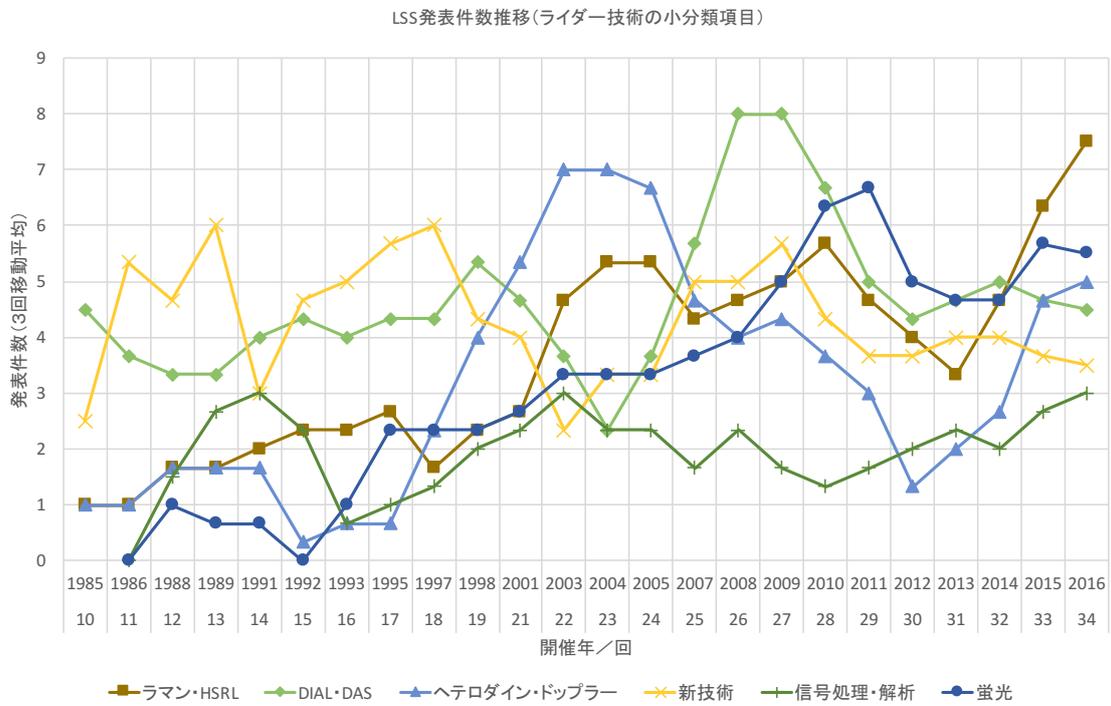


図 2.3.

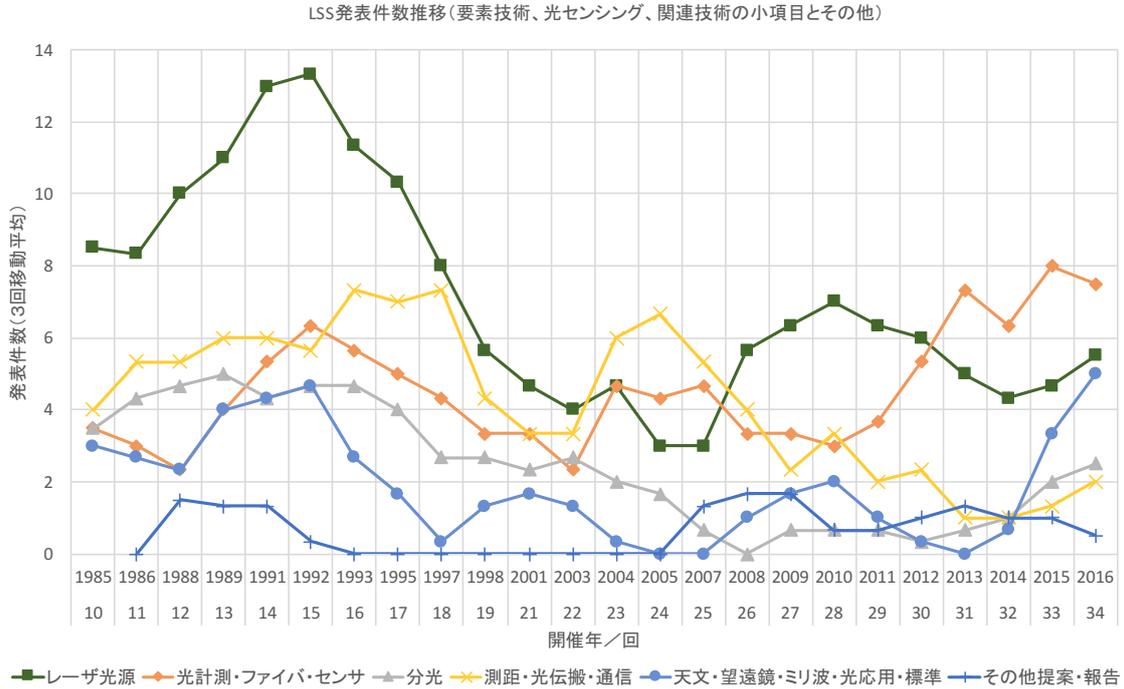


図 2.4.

## 2. 2. 日本気象学会

気象学会でのライダーに関連した発表論文の調査を行うため、2006 年から 2015 年までの過去 10 年間のライダー、衛星搭載ライダー CALIPSO に関連した論文の発表件数について調べた。発表タイトルから、観測対象により、気象要素(風、水蒸気)、大気微量成分(オゾン、二酸化炭素)、エアロゾル、雲、その他に分けた。また、観測高度(境界層、対流圏、成層圏)で分類を行った。

発表件数は過去 10 年間で 1 年あたり 17~33 件程度。過去 10 年間の発表件数をみると、2007~2009 年と、2014 年に発表件数が高い。2007~2009 年の増加は、CALIPSO のデータが使用できるようになり、CALIPSO を使った雲に関する研究の発表件数が増えたことが主な要因であると考えられる。また、2014 の発表件数の増加は、2014 年秋の気象学会が、岡本先生グループの本拠地である福岡開催だったため、CALIPSO を使った雲の発表件数が一時的に増えたため(彼らのグループで 6 件)。

観測対象別に発表件数の傾向をみると、気象要素、エアロゾル、雲、大気微量成分の順に発表件数が多い。「気象要素」の中でも風を観測対象にした発表件数が、気象要素の約 8 割(全観測対象の約 3 割)と非常に多い。気象要素は、2010 年以降、風をターゲットにした研究が増えて、発表件数が、若干増加しているように見える。微量気体成分も若干増加しているように見える。エアロゾルの発表件数はそれほど変化していない。雲の発表件数は、CALIPSO 等の衛星観測を使った研究が割合として高く、2008-2010 年の間に高く、それ以降減ってい

る（2014年は上述したように、特殊事情により増加した）。

観測高度について整理した結果では、対流圏、境界層、成層圏の順に、発表件数が多かった。

表 2.1.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	計
気象要素	6	11	6	7	5	7	5	9	13	7	76
大気微量成分	3	1	2	2	2	4	6	2	1	3	26
エアロゾル	8	7	13	6	7	7	9	8	9	4	78
雲	1	6	10	9	7	4	4	3	10	3	57
その他	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
計	18	25	31	25	21	22	24	22	33	17	238
境界層	5	12	8	8	4	7	9	8	9	9	79
対流圏	13	12	22	15	15	14	11	12	23	7	144
成層圏	0	1	1	1	2	1	4	2	1	1	14
その他	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
計	18	25	31	25	21	22	24	22	33	17	238

## 2. 3. 応用物理学会

応用物理学会に関しては、90年代には多数のライダー関連発表が見られた。例えば、90年春：9件、95年春：8件、96年春：11件と、コンスタントに10件近くの発表があったが、その後少しずつ減少傾向となり、16年秋には3件のみとなっている。80年代後半の半導体励起固体レーザーの革新もあり、90年代は固体レーザーベースで多くのライダー開発が進んだが、その後、固体レーザー技術が成熟するとともに、特に空港の風監視や風力発電での風計測を中心にライダーの商用化が進んだことが、要素技術発表を主流とする応用物理学会でのライダー発表を減少させていると考えられる。

## 2. 4. AGU (American Geophysical Union)

### 2. 4. 1. AGU (衛星搭載ライダー)

毎年アメリカ、サンフランシスコで12月に開催されるAGUおよび関連学会のプログラムからICESat, CALIPSOを題材にした発表案件を抽出した。調査は西暦2000年～2015年に発表されたものを対象とした。

発表件数はCALIPSOに関連する内容だけで800以上、ICESatに関連するものだけで250以上と総数で1000件を超えている。このことから、個別内容のカテゴリは実施せず、打上げ年を0とし、打上げ経過年数における発表件数の

推移を図 2.5 に示す。この中で、現在開発中の ADM-Aeolus, EarthCARE, ICESat-2, GEDI, MERLIN, 計画されている ASCENDS, ACE, LIST, 3D-Wind, そして 2014 年 12 月に国際宇宙ステーションで運用されている実験ミッション CATS-ISS の発表件数は経過年数が少ないこともあり、除外している。また、マイナスの年数には打上げ前 3 年から前年までの発表件数をまとめている。

ICESat, CALIPSO とともに共通する項目として挙げられる傾向は、

<sup>2</sup> 打上げ前の年までは開発担当機関と PI 相当の研究者による発表が主体。

<sup>2</sup> 打上げ後 1 年内はミッション機器の校正・検証を含めた RA 研究者の発表が主。一般的に言われる低次プロダクト (L1~L2 相当もしくは観測機器単体で作成できるデータ) に関する内容が主体

<sup>2</sup> 3 年を過ぎる期間になるとミッション機器に関わる発表件数は減少し、低次プロダクトを用いたサイエンス、もしくは高次プロダクトを用いた発表件数が増える。

<sup>2</sup> 定常運用への移行が完了すると、継続データがそろっているため、発表件数はおおむね CALIPSO で 80, ICESat で 20 件程度で推移している。

<sup>2</sup> 学術雑誌 (IEEE, EGU, AGU, OSA etc) に投稿される論文数も 3 年を目途にピークを迎え、コンスタントな数を維持している。(3 年程度で学術雑誌の特集号が組まれることが多いと思われる。)

ICESat は搭載レーザが不調となり、定常観測が行われなかったが、離散的なキャンペーン観測のみにもかかわらず、得られたデータを用いて運用終了以降 (2011 年以後) でも発表が継続している。また ICESat は氷床観測が主目的となっているが打上げ以降、陸域生態系の研究者 (おもに森林のバイオマス量推定や土地利用変化に関わる研究者) にも利用が徐々に広がっており、近年の発表件数は陸域生態系分野による森林観測の内容が最も多い。

CALIPSO は 搭載レーザが順調に稼働しており、ICESat と比較して得られているデータが年単位、季節単位、領域単位と揃っており、発表件数も多くなっている。

AGU の中に地球温暖化気体の地上および衛星からのライダー観測をめざした技術開発に関するセッションがこの 7 年間にわたって設置されてきた。2016 年 12 月の AGU fall meeting においても、” Lidar Investigations of Greenhouse Gases Aerosols, and Clouds” というテーマでセッションが設けられている。

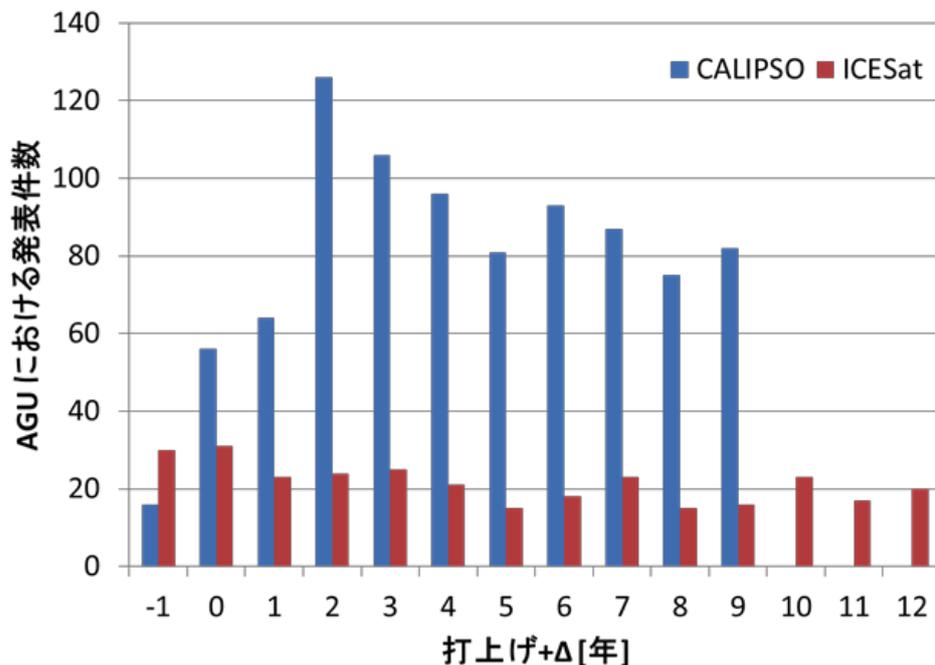


図 2.5. 2000 年～2015 年における AGU、および関連学会における打上げ経過年数ごとの CALIPSO, ICESat を題材にしたの発表件数

## 2. 4. 2. AGU (超高層分野)

当該研究領域の学術雑誌は、GRL, JGR, EPS, ANGE0, JASTP など多数あるが、今回は新規性・インパクト性の高い GRL (Geophysical Research Letters) についての調査を紹介する。2011 年から 2016 年 3 月までを調査期間としている。

調査手順 (1): GRL ウェブサイトで論文検索 -> 100 件 該当

条件 1: 2011 年以降

条件 2: “Title に lidar を含む” OR “Abstract に lidar を含む” OR “Keywords に lidar を含む”

調査手順 (2): Title, Abstract 等をマニュアルで確認 -> 26 件 該当

条件 1: 中間圏高度以上 (超高層) の研究

当該 26 件の論文に関して、幾つかの観点から分類した結果を以下に示す。

表 2.2. 年別の論文件数

年	2016	2015	2014	2013	2012	2011
計: 26	2	10	2	2	2	8

2012-2014 年の論文件数が少ないことが見てとれる。噂程度の情報であるが、近年 GRL 査読方針が厳しかった時期があり、最近また少し緩めになりつつあるらしいので、2012-2014 年は厳しかった時期にあたるのではないかと想像する。

表 2.3. ライダー種別の論文件数

ライダー種別	金属ライダー	その他 (レイリー, ミー, ラマン)
小計: 26	18	8

金属ライダーを用いた論文数は、その他の 2 倍以上になっており、超高層の研究では、金属ライダーが主流になっていると考えられる。

表 2.4. 観測地点別の論文件数

観測地点	高緯度	中緯度	低緯度	その他 (火星)
小計: 28	16	8	2	2

※ 複数地点の場合があるため、小計は 26 に一致しない。

高緯度の研究が多く、それらの高緯度論文は、ドイツ (8 件)、米国 (4 件)、日本 (4 件) の 3 カ国のグループが中心になっているように見受けられる。

表 2.5. 使用データ別の論文件

使用データ	温度/風速	金属組成	PMC	その他 (火星)
小計: 29	12	12	3	2

※ 複数データ使用の場合があるため、小計は 26 に一致しない。

温度/風速データと金属組成データはどちらも利用されており、大気力学的な研究と大気化学な (大気組成の) 研究の双方がともに活発であると思われる。

超高層分野の研究では、金属原子/イオン共鳴散乱ライダーが主流になっている。希薄な大気を計測するのに共鳴散乱 (散乱断面積が大きい) を利用するのは都合がいい。そのためには、対象の大気の共鳴線とレーザ波長の相性をマ

ッチさせる必要がある。当該論文の中で注目すべきことのひとつとして、Ni ライダーの初観測 (Collins et al., GRL, 2016) がある。新しいマッチングが生まれることで、これまで観測できなかった大気組成が新しく観測できるようになる点は共鳴散乱ライダーの重要な将来性であると考えられる。特に、金属原子層/金属イオン層 (高度 80-110 km) よりも更に上の熱圏領域の大気組成 (O, He など) を狙うようなライダーは未だ実現されていない。また、Chu et al., GRL (2011) で報告された熱圏金属層 (高度 120 km 以上に金属層が広がる現象) の発見以来、中層大気だけでなく熱圏・電離圏高度 (極域オーロラ活動など) にも目が向けられるようになってきている。極域関係の論文数が多いことも極域オーロラ活動などへの注目を高める一因となっているように思う。

## 2. 5. SPIE (The International Society for Optical Engineering)

まず最初にレーザレーダ関連キーワード検索により過去 10 年間の SPIE の各 Conference の発表頻度を調査しました。この結果を表 2.6 に示します。この図において青字は主に当研究会と関連がある環境計測分野の Conference を示します。また、赤字は防衛関係の Conference です。この表を見ると、世界動向としては環境と防衛がレーザレーダの主要な応用分野である事が分かります。

ウエイトとしては、キーワードにより異なり、“Laser Remote Sensing” が環境分野のウエイトが高く、“Lidar” は環境と防衛が同程度、“LADAR” は防衛の比重が高いようです。また、Laser Radar は Laser 技術等の要素技術を含め多様な内容を含んでいるようです。

次に、レーザレーダ研究会の研究内容と関連性がある以下の Proceedings 掲載論文の調査を実施しました。

Vol. 8182, Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing VII (2011).

Vol. 8894, 同 IX (2013)

Vol. 9246, 同 X (2014)

Vol. 9645, 同 XI (2015).

調査結果を表 2.7. に示します。

この結果より以下の傾向を見る事ができます。

CO<sub>2</sub> 計測等地球温暖化ガスに対する開発が進められていますが、カウントとしては IPDA と DIAL は同程度となっています。また、Doppler Lidar と Raman Lidar に対するカウントが多く重要性を伺わせます。この表では明確ではありませんが、衛星搭載型その他の宇宙関連の発表はコンスタントに発表されている様です。aerosol に関して様々な手法で計測されていますが、network 化する傾向が

見受けられます。

その他の Lidar 応用は拡散している状況です。これは、注目すべき応用がないのか、別の Proceeding に移行したのか、更に実用化が進み新規性が薄れたため発表件数が少ないのか不明です。また、最近の 2 年間に発表件数が見当たらないのが気になる点です。

表 2. 6.

表1、レーザレーダ関連キーワードによるSPIE Conference発表頻度調査結果

Ranking	Search Keyword			
	Laser Remote Sensing	Laser Radar	Lidar	LADAR
1	Other Conferences (5767).	Other Conferences (12075).	Other Conferences (831).	Other Conferences (662).
2	<a href="#">SPIE Remote Sensing (3591).</a>	SPIE BIOS (4871).	<a href="#">Defense, Security, and Sensing (578).</a>	<a href="#">Defense, Security, and Sensing (513).</a>
3	<a href="#">Defense, Security, and Sensing (3292).</a>	SPIE LASE (4449).	<a href="#">SPIE Remote Sensing (531).</a>	<a href="#">SPIE Remote Sensing (377).</a>
4	SPIE Optical Engineering + Applications (1745).	SPIE OPTO (3931).	SPIE Optical Engineering + Applications (308).	SPIE Optical Engineering + Applications (243).
5	<a href="#">SPIE Asia-Pacific Remote Sensing (1522).</a>	<a href="#">Defense, Security, and Sensing (3212).</a>	<a href="#">SPIE Asia-Pacific Remote Sensing (232).</a>	<a href="#">SPIE Asia-Pacific Remote Sensing (167).</a>
6	SPIE BIOS (676).	SPIE Optical Engineering + Applications (2908).	<a href="#">SPIE Defense + Security (122).</a>	<a href="#">SPIE Security + Defense (103).</a>
7	SPIE OPTO (664).	Photonics Europe (1457).	<a href="#">Defense + Security Symposium (116).</a>	<a href="#">Defense + Security Symposium (99).</a>
8	<a href="#">SPIE Defense + Security (437).</a>	Photonics Asia (1427).	SPIE LASE (115).	<a href="#">SPIE Defense + Security (75).</a>
9	Sensing Technologies + Applications (397).	SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (1086).	<a href="#">SPIE Security + Defense (108).</a>	SPIE LASE (51).
10	SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (391).	<a href="#">SPIE Remote Sensing (1031).</a>	Lidar and Radar Mapping Technologies (81)	<a href="#">Atmospheric and Ocean Optics (44).</a>
Total	21663	47936	3320	2432

Search period:09/14/2006-09/13/2016

表 2.7.

添付表 Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing

Objective	System	Laser wavelength	SPIE Proceedings Vol. (Year)				Total	
			9645 (2015)	9246 (2014)	8894 (2013)	8182 (2011)		
Atmospheric CO <sub>2</sub> measurements. Atmospheric water vapor, methane and carbon dioxide. Greenhouse gases. Volcanic CO <sub>2</sub> emissions.	Integrated Path Differential Absorption (IPDA) Lidar	Double-pulse 2 μm	1	2			3	
	RM-CW Lidar (LD+photon counting) +IPDA	1.57 μm LD+MOPA	1				1	
	Intensity- Modulated Continuous-Wave (IM-CW) Lidar+IPDA	LD?	2				2	
	DIAL	(LD+MOPA+OPO)	2.05 μm(CO <sub>2</sub> ) 2.29 μm(CH <sub>4</sub> ) 2.06 μm(H <sub>2</sub> O)	1				1
		(DFB Laser + OPO)	1.573 μm(CO <sub>2</sub> ) 1.646 μm(CH <sub>4</sub> )	1		2		3
		(LD pumped Er:YAG)	1645.55nm			1		1
		OPO	(tunable from 1.5 to 3.1 μm)			1		1
		LD pumped Nd:YAG+OPG (1.6 μm)					1	1
	Laser absorption sensor with chirp modulation.		1.57 μm				1	1
	Broadband Lidar ( light receive by Fabry-Perot solid etalon).	Nd:YAG+OPO(1.5722 to					1	1
Supercontinuum Laser Absorption Spectroscopy (SLAS). (by mid-infrared supercontinuum fiber laser source).	mid-infrared super continuum fiber laser (2~3.5 μm)					1	1	
Ozone	DIAL(Tropospheric Ozone Lidar Network).	Q-switched Nd:YLF inter-cavity doubled laser pumping a Ce:LiCAF tunable UV laser	1	1			2	
	DIAL	299nm/341nm(Nd:YAG Laser)	1				1	
Wind sensing	Doppler Lidar.	Fiber Lase +MOPFA, Eye Safe wavelength(1.5 μm?)	1			1	2	
	Airborne Doppler Wind Lidar	Ho: Tm laser systems (2μm)		1		1	2	
	CW Lidar(A low-coherence continuous wave Doppler Lidar )	2 μm?		1			1	
	Direct detection Lidar.	a synthetic broadband source narrowband LD ( 1.550 μm)	1		1		2	
Vegetation height. Planetary boundary layer height. Surface topography.	Multi-kHz Single-Photon Counting (SPC) space LIDAR.		1				1	
	Low-lev jet (LLJ) method using Doppler Lidar measurements.		1				1	
	Vegetation LiDAR(Japan).	LD pumped Nd:YAG (1064nm)+Amplifire			2		2	
	MOLI(Multi-Foot point Observation LiDAR and Imager).	LD pumped Nd:YAG (1064nm)				1	1	
Aerosol and water vapor profiles.	Lunar orbiter laser altimeter (LOLA).	N(387nm),Water Vapor(407nm)	1			3	4	
	Raman Lidar	Nd:YAG SHI		4			4	
	Ceilmeter, sun photometer and ozone meter.	-			1		1	
Polar stratospheric clouds (PSCs)	CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization)	Nd:YAG SHG		1			1	
	Multi-platform approach based Lidar, sun photometry and satellite observations (CALIPSO/MODIS).	a 5 wavelength Raman lidar system	1				1	
Aerosol cloud. Aerosol optical property. Long scale plume transport.	High Spectral Resolution Lidar (HSRL) and MPLNET (Micro Pulse Lidar (MPL)).	HSRL:532nm MPLNET:527nm		2			2	
	high-performance multiparameter Raman lidar RAMSES (Raman lidar for atmospheric moisture sensing)	Lamp pumped Nd:YAG laser+THG	1				1	
	Polly <sup>NET</sup> automatized multiwavelength polarization Raman Lidar.	Lamp pumped Nd:YAG (Inlite III-20 (Continuum))SHG+THG			1		1	
	Raman and dual-polarization LiDAR.	LD pumped Nd:YAG THG			1		1	
	LED mini Lidar.	LED(392nm)		1			1	
	The Latin American Lidar Network (LALINET).	Nd:YAG+SHG+THG		1			1	
	Ground-level sensor network (Mie Lidar)(Japan)	Nd:YAG+SHG		1			1	
	NOAA-CREST Lidar network (CLN).							
	AERONET-SUN/SKY radiometer network at Lidar sites.	Nd:YAG+SHG+THG			1		1	
	CALIPSO observations.							
	Potenza EARlinet Raman Lidar (PEARL)+ceilometer.	Nd:YAG+SHG+THG				2	2	
	European Aerosol Research Lidar NETwork (EARLINET).	Nd:YAG+SHG+THG				2	2	
	CALIPSO observations.							
	Multi-wavelength elastic backscatter Lidar.	Nd:YAG+SHG+THG?			1		1	
	High precision polarization Lidar (inline Lidar).	Nd:YAG SHG				1	1	
	Portable imaging Lidar using continuous wave(CW) laser.	visible CW Laser	1				1	
	White light polarization Lidar.	Terawatt Laser System at 800nm White light 300nm to more than 2200nm.				1	1	
	Multiwavelength micropulse Lidar (MML)	LD pumped				1	1	
	532nm Lidar+Radiosounding(humidity profile)	Nd:YAG SHG				1	1	
	Atmospheric emissions from industrial flare stacks. Forest Fire smoke. Soot	3 wavelength Lidar(Nd:YAG).	Nd:YAG+SHG;THG]			2	1	3
Detection of atmospheric pollutants.	Lidar, sodar and correlation with air quality.	Nd:YAG (CFR 450)+SHG+THG				1	1	
Early forest fires detection.	Portable CO <sub>2</sub> Lidar/dial system.	CO <sub>2</sub> Laser(10.571 μm)				1	1	
Sugar cane fires.	A 2-channel Raman Lidar system and two meteorological S-Band Doppler Radars.	Nd:YAG SHG 607nm(Raman N2 Channel)				1	1	
Volcanic particles.	European Aerosol Research Lidar NETwork (EARLINET).	Nd:YAG+SHG+THG				1	1	
Chemical agents.	Sun photometer measurements.							
Atmospheric temperature.	Lidar(Nd:YAG)/DIAL(CO <sub>2</sub> Laser) system.	Nd:YAG, DIAL(CO <sub>2</sub> Laser)			1		1	
Mapping of explosive precursors.	Rayleigh-Brillouin scattering.	Nd:YAG THG			1		1	
	Mid-IR DIAL	OPO+OPA System (3.0 μm - 3.5 μm)			1		1	
Total			15	16	18	23	72	

## 2. 6. ILRC (International Laser Radar Conference)

・ ILRC 10年分の分野別研究動向

ILRC過去10年間のProceedings集計結果

27th New York (2015)

1. Spaceborne Lidar 16
2. Lidar Technology 106
3. Gas monitoring 38
4. Atmosphere 124
5. Terrestrial Lidar 3
6. その他(Ocean) 3

コメント：3. Gas monitoringにCO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> DIALが多い。

26th ILRC Greece (2012)

1. Spaceborne Lidar 36
2. Lidar Technology 60
3. Gas monitoring 7
4. Atmosphere 165
5. Terrestrial Lidar 8
6. その他 2

コメント：4. AtmosphereにWater VaporとGravity Wave関連が多い。

25th St-Petersburg (2010)

1. Spaceborne Lidar 41
2. Lidar Technology 69
3. Gas monitoring 2
4. Atmosphere 244
5. Terrestrial Lidar 3
6. その他 0

コメント：2. Lidar TechnologyにDoppler Lidar関連、  
4. AtmosphereにNetworkと火山、Biomass Burningが多い。

24th Boulder (2008)

1. Spaceborne Lidar 45
2. Lidar Technology 75
3. Gas monitoring 19
4. Atmosphere 164
5. Terrestrial Lidar 4
6. その他(Ocean) 4

- コメント：1. Spaceborne LidarにCALIPSO観測結果が多い。  
2. Lidar TechnologyにWind Doppler Lidarが多い。

23rd Nara (2006)

- |                      |     |
|----------------------|-----|
| 1. Spaceborne Lidar  | 35  |
| 2. Lidar Technology  | 84  |
| 3. Gas monitoring    | 8   |
| 4. Atmosphere        | 168 |
| 5. Terrestrial Lidar | 2   |
| 6. その他 (Ocean)       | 1   |

コメント：

全体を通しての傾向

- ・2015年のSpaceLidar研究の減少はアメリカの経済的な理由が反映されたものか。
- Lidar Technologyが2015年に大幅増えているのはGas Monitoringのニーズに伴うレーザ技術の反映か。
- Gas Monitoringの動向には年度毎の動向が伺える。技術動向とリンクしているよう。
- Atmosphereの動向には大気・気象イベントが反映（火山活動、重力波等）。

## 2. 7. 風力発電関連学会（風計測ライダー利用に関する発表）

風力発電分野では、地上や浮体設置での風況調査、風車評価に加え、風車に搭載しての風車評価や風車制御など、様々な用途での風計測ライダー利用が進んでいる。ここでは、風力発電関連の主要学会に関し、ライダー利用の発表内容を調査したので報告する。

EWEA(European Wind Energy Conference), DEWEK(German Wind Energy Conference)、風力エネルギーシンポジウムといった国内外主要の風力発電関連学会について調査した結果、風計測ライダー利用の発表は年々増え続けていることが分かった。EWEAに関しては表 2.8、2.9 に示すように、14年に26件だったものが15年には38件に、DEWEKに関しても、12件から26件に増えている。国内に関しては、風力発電自体の導入規模が小さいこともあり件数自体は少ないが、3件から5件へと明らかに増加傾向である。以上から、本分野でのライダー導入加速の顕著な傾向が確認できる。また全体的な傾向として、件数増加だけでなく、ライダーメーカーではなくユーザサイドからの発表比率が年々増えている、さらに、研究機関にとどまらず、風力コンサル、発電事業者、風車メーカーといった、実用ユーザの発表が中心となりつつある。

## 2. 7. 1. EWEA (European Wind Energy Conference)

表 2. 8. EWEA2014 での発表リスト

EWEA2014			
	発表タイトル	筆頭著者	機関
1	A strong business case for lidar measurements	Erik Holtslag	Ecofys
2	Assessment and optimization of lidar measurement availability for wind turbine control	Samuel Davoust	Avent Lidar Technology
3	Classification of remote sensing devices at different sites: a lidar case study	Julia Gottschall	Fraunhofer IWES
4	Correlation effects in the field classification of ground based remote wind sensors	John Medley	ZephIR lidar
5	Evaluation of Lidar Measurements for Turbulence Assessment	Hilbert David	Senvion SE
6	Evaluation of wind flow with a nacelle-mounted, continuous wave wind lidar	John Medley	ZephIR
7	Field testing of lidar assisted feed-forward control on a large commercial wind turbine	Florian Haizmann	University of Stuttgart
8	Finance grade wind measurements with lidar	John Medley	ZephIR lidar
9	Galion Lidar power curve assessment - novel method	Graham More	SgurrEnergy
10	Haliade 150 (6MW). Power curve measurement according CD IEC61400-12-1 (new edition)	Jordi Armet Unzeta	Alstom renovables España S.L
11	How does the wind blow behind wind turbines and in wind farms?	Matthieu Boquet	LEOSPHERE
12	Large area measurements of wind speed using a mobile-based lidar	Ndaona Chokani	ETH Zurich
13	Lidar errors in complex terrain and strategies for an optimized measurement design in resou	Doron Callies	Fraunhofer IWES
14	Lidar measurements and visualisation of turbulence and wake decay length in an offshore w	Graham More	SgurrEnergy
15	Lidar measurements of hub-height winds over the North Aegean Sea	Dimitri Foussekis	C.R.E.S
16	Lidar observations of interacting wind turbine wakes in an onshore wind farm	Matthieu Boquet	University of Colorado at Boulder
17	Lidar turbulence measurements for wind turbine selection studies: design turbulence	John Medley	ZephIR lidar
18	Optimized lidar scanning patterns for reduced project uncertainty	Michael Courtney	DTU
19	Power performance validation and yaw misalignment the application of nacelle lidar	Jan Willem Wagenaar	ECN
20	Procedure for nacelle-mounted lidar validation. conclusions on 1HZ sampling rate analysis	Jordi Armet Unzeta	Alstom renovables España S.L
21	Sensitivity of space and time on scanning lidar data correlation and the implications on sync	Alexander Cassola	Oldbaum Services Ltd
22	Shorter lidar campaigns without seasonal bias	Frank Flottemesch	Ecofys
23	The impact of tilt and inflow angle on ground-based lidar wind measurements	John Medley	ZephIR lidar
24	Turbulence intensity measurements from a variety of doppler lidar instruments	Raghu Krishnamurthy	LEOSPHERE
25	Validation of vortex code viscous models using lidar wake measurements and CFD	Emmanuel Branlard	DTU
26	What makes a nacelle mounted lidar a tool for power performance measurement?	Rozenn Wagner	DTU

表 2.9. EWEA 2015 での発表リスト

EWEA2015			
発表タイトル	筆頭著者	機関	
1 Field Testing of LIDAR Assisted Feedforward Control Algorithms for Improved Speed Control and F	Avishek Kumar	DNV	
2 An Adaptive Data Processing Technique for Lidar-Assisted Control to Bridge the Gap between Lida	David Schlipf	University of Stuttgart	
3 Yaw Offset Correction based on Extremum Seeking Control	Pablo Vital	Gamesa	
4 $H^\infty$ Based Gain Scheduled Robust Control for a Commercial 3 MW Wind Turbine	Iciar Font	GE Renewables Energy	
5 Systematic tuning of fixed structure speed and active tower damping controllers using $H^\infty$ norm c	Martin Shan	Fraunhofer IWES	
6 LIDAR Calibration – What’s the problem?	Mike Courtney	DTU	
7 Evaluation of wind speed uncertainty estimated with a scanning Doppler LIDAR inside and outside t	Hugo Herrmann	EDF Energy R&D UK Centre	
8 Volumetric wind field measurements of wind turbine wakes with long range lidar	Hauke Beck	ForWind	
9 Uncertainty of Power Production Predictions of Stationary Wind Farm Models	Juan Pablo Murcia	Technical University of Denmark	
10 Wind farm layout optimization in complex terrain with CFD wakes	Jonas Schmidt	Fraunhofer IWES,	
11 Derivation of cup-equivalent turbulence from Doppler spectra obtained by scanning CW lidar	Scott Wylie	ZephIR	
12 LIDAR in the wind industry: reflections past, present and future	Mike Harris	ZephIR	
13 Ring analysis floating LIDAR, static LIDAR and offshore meteorological mast	Jan Willem Wagenaar	ECN	
14 Performance study of Lidar measurements filtering for turbulence estimation	Fabrice Guillemin	IFP Energies nouvelles	
15 Measuring Accurate Turbulence using Commercial Lidars	Ameya Sathe	DTU	
16 Floating Wind measurement campaigns: WindFloat Case Study	Ignacio Lainez Aracama	EDP Renováveis	
17 Finance grade wind measurements with masts and lidars in complex terrain	Konstantinos Gkarakis	HWEA/TEI Athens	
18 Predicting large-scale recirculation using a hybrid lidar-LES approach	John Amund Lund	Meventus AS	
19 Lidar to Lidar calibration	Michael Courtney	Denmarks Technical University, Wind Energy Department	
20 CFD-based corrections of LIDAR measurements at several complex terrain sites	Dimitri Foussekis	C.R.E.S	
21 A Method to Evaluate Data Availability of Doppler Lidar: the European Case	Matthieu Boquet	LEOSPHERE	
22 Wind speed measurements for offshore applications using both mast and LIDAR on a floating platfo	Athanasios Katsanevakis	ESTIA consulting & engineering S.A.,	
23 Offshore Wind Resource Assessments using Floating Lidar Systems as main Source of Finance rel	Detlef Stein	DNV GL	
24 Demonstration of the high-availability wind lidar system adapting to atmospheric environment for re	Nobuki Kotake	Mitsubishi Electric Corporation	
25 Validation of Measurements from a ZephIR Lidar	Peter Argyle	Loughborough University,	
26 Floating offshore wind measurement system by using lidar and its verification	Atsushi Yamaguchi	The University of Tokyo	
27 Wind turbine simulation in flat and complex terrain using generic wind fields based on Lidar and son	Oliver Bischoff	University of Stuttgart	
28 Post Construction Acoustical Campaigns and Turbines Performance Analysis supported by LIDAR M	Cédric Eneau	DEWI	
29 The influence of yaw misalignment on wind measurement using nacelle-mounted LIDAR	Yusuke Nojima	the University of Tokyo	
30 Generic calibration procedure and measurement uncertainty of nacelle-based profiling lidars	Antoine Borraiccino	DTU Wind Energy	
31 Comparison of wind turbine wake numerical simulation with scanning lidar measurements	Arièle Défossez	EDF R&D	
32 Turbulence measurements using scanning lidars: A new approach	Klaus Vogstad	Meventus	
33 Real time estimation of rotor-effective wind speed from turbine-mounted Lidar	Guillaume Sabiron	IFP Energies nouvelles	
34 Evaluation of LIDAR Performance for Practical Turbine Control Implementation	Samuel Davoust	General Electric	
35 Comparison of feedback and ideal and realistic lidar-assisted feedforward individual pitch control	Svenja Wortmann	Technische Universität Darmstadt	
36 LIDAR Assisted Model Predictive Control of a Next Generation Wind Turbine for Tower Fatigue Loa	Avishek Kumar	DNV GL	
37 Design and Evaluation of a Lidar-Based Feedforward Controller for the INNWND.EU 10 MW Wind T	Holger Fürst	Stuttgart Wind Energy	
38 APPLICATION OF GROUND-BASED AND NACELLE-BASED LIDAR FOR WIND FARM PRODUCTIC	Guillaume Terris	La Compagnie du Vent	

## 2. 7. 2. DEWEK (German Wind Energy Conference)

### 欧州第二の風力発電関連学会

表 2.10. DEWEK2012 での発表リスト

DEWEK2012			
	発表タイトル	筆頭著者	機関
1	Sensing the Offshore Wind in the Vicinity of alpha ventus Wind Farm: A Wind LiDAR Study	B. Cañadillas	DEWI
2	'GW Wakes': Measuring Wake Effects and Wake Turbulence Characteristics of Very Large Offshore Wind Farms with Synchronised Long-range LiDAR Windscanners	J. Schneemann	ForWind
3	Ship Based-LiDAR Measurements	G. Wolken-Möhlmann	Fraunhofer IWES
4	KIC InnoEnergy Project Neptune: Development of a Floating LiDAR Buoy for Wind, Wave and Current Measurements	F. Schuon	IREC
5	Determination of Stationary and Dynamical Power Curves Using a Nacelle-based LiDAR System	I. Würth	Universität Stuttgart
6	Assessment of Turbine-mounted LiDAR for Control Applications	E. A. Bossanyi	GL Garrad Hassan
session LiDAR			
7	Application of Lidar for Assessment of the Wind Resource in Complex Terrain	M. Boquet	LEOSPHERE
8	LiDAR Equivalent Wind Speed Measurements - A Power Curve Comparison	T. Blodau	REpower Systems SE
9	LiDAR in Complex Terrain: CFD Approach for Conversion of Standard LiDAR Data Considering Flow Inhomogeneity Validation of Results Against Cup Anemometers	S. Koller	Meteotest, Switzerland
10	Model Based Wind Vector Field Reconstruction from LiDAR Data	D. Schlipf	Universität Stuttgart - SWE
11	Financer's Acceptance of Remote Sensor Data	A. Albers	Deutsche WindGuard Consulting GmbH
12	Measuring Wind Profiles in Complex Terrain Using Doppler Wind Lidar Systems with FCR and CFD Implementations	L. Wagner	GWU-Umwelttechnik GmbH

表 2. 11. DWEK2015 での発表リスト

DWEK2015			
	発表タイトル	筆頭著者	機関
1	Foresighted planning of lidar measurement campaigns by using error maps	Tobias Klaas,	Fraunhofer IWES
2	Mobile LIDAR Mapping of Utility-Scale Wind Farms	Mohsen Zendeabad,	Laboratory for Energy Conversion, ETH Zürich, Zürich, Switzerland,
3	Bias of mean wind estimate due to non-perfect availability of remote sensing data	Gerhard Peters	Consult. Meteorol
4	A New Bistatic Wind Lidar for Highly Resolved Wind Vector Measurements	Michael Eggert	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
5	Numerical Modelling for Optimization of Wind Farm Turbine Performance	M. O. Mughal	Curtin University
6	Correlation-Model of Rotor-Effective Wind Shears and Wind Speed for Lidar-Based Individual Pitch Control	Florian Haizmann	Stuttgart Wind Energy
session LIDAR1			
7	“GW Wakes”: Measurements of wake effects in »alpha ventus« with synchronised long-range lidar windscanners	J. Schneemann	ForWind
8	Analysis of wake sweeping effects based on load and long-range lidar measurements	Hauke Beck	ForWind
9	Fraunhofer IWES Wind Lidar Buoy Validation	Claudia Rudolph	Fraunhofer
10	Offshore wind turbine power performance measurement using a nacelle mounted lidar and a sector scanning lidar from the transition piece	R. Wagner	DTU
11	Measurement of turbine inflow with a 3D WindScanner system and a SpinnerLidar	R. Wagner	DTU
session LIDAR2			
12	Calibration procedures for nacelle-mounted profiling lidars	A. Borraccino	DTU
13	Determination of stationary and dynamical power curves in inhomogeneous wind flow using a nacelle-based lidar system	I. Würth	Stuttgart Wind Energy
14	Comparison of the rotor equivalent wind speed of ground- and nacelle-based Lidar	Martin Hofsäß	Stuttgart Wind Energy
15	Power curve filtered with TI measured with a two-beam nacelle LiDAR	Rebeca Rivera Lamata	DONG Energy
16	Robust low cost offshore power curve tests with lidar	Peter J M Clive	SgurrEnergy
17	Effects of rotor induction on the propagation of disturbances towards wind turbines	K. Boorsma	ECN
18	Assessment of LiDAR-correction for wind measurements in complex terrain	Friederike Bégué	DEWI
19	The first measurement campaign of Mitsubishi Electric’s wind lidar in European test site	Masaharu Imaki	Mitsubishi Electric Corporation
20	High-availability wind lidar system adapting to atmospheric environment for reliable wind resource assessment	Nobuki Kotake	Mitsubishi Electric Corporation
21	Turbine mounted pulsed LiDAR for performance verification in complex terrain	L. Wagner	GWU
22	Assessment of turbulence measurements for offshore turbine testing with nacelle based LiDAR	-	DONG Energy
23	Classification and sensitivity analysis of turbine-mounted and floating lidars	J. Medley	ZephIR
24	Lidar use cases for the acquisition of high value data sets	Peter J M Clive	SgurrEnergy Ltd,
25	A comparison of 2- and 5- beam nacelle mounted lidar measurements on an offshore wind turbine	Peter J M Clive	SgurrEnergy Ltd,
26	A detailed analysis of ship-lidar measurements with comparison to FINO 1	Gerrit Wolken-Möhlmann	Fraunhofer

## 2. 7. 3. 風力エネルギー利用シンポジウム

(日本風力エネルギー学会)

表 2.12. 風力エネルギー利用シンポジウム 2014 での発表リスト

風力エネルギー利用シンポジウム2014			
	発表タイトル	筆頭著者	機関
1	風力発電試験サイトにおけるドップラーライダーの性能実証結果	今城 勝治	三菱電機株
2	風況計測用大気環境適応型ドップラーライダーの開	小竹 論季	三菱電機株
3	6自由度の動揺を考慮した浮体式ドップラーライダーの計測に関する研究	若林 蘭	東京大学

表 2.13. 風力エネルギー利用シンポジウム 2015 での発表リスト

風力エネルギー利用シンポジウム2015			
	発表タイトル	筆頭著者	機関
1	浮体式洋上風況タワーにおける観測結果およびその動揺補正手法の検討	小長谷瑞木	E&ES株式会社
2	WRFを用いた日本沿岸洋上風況マップの研究開発	大澤 輝夫	神戸大学
3	9ビームナセル搭載ドップラーライダーを用いた風車のパワーカーブ計測	川端 浩	技術総合研究所
4	臨海部における鉛直照射型ドップラーライダーを用いた風況観測結果の考察	水戸俊成	E&ES株式会社
5	沿岸会場におけるWRF計算値と水平照射型ライダー観測値の比較	小長谷瑞木	E&ES株式会社

## 2. 8. 国際標準化の動き

風計測ライダーの動きとしてもう一つ注目に値するものとして、国際標準化活動があげられる。現在、以下の機関にて、標準化の動きが同時進行中である。

- ・ ISO: International Organization for Standardization

(国際標準化機構、標準化機関)

- ・ IEC: International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議、標準化機関)

- ・ IEA: International Energy Agency (国際エネルギー機関、諮問機関)

上記の内、ISO と IEA は独立に動いており、ISO はライダーの機器としての基準性能、IEC はライダーの利用方法についての規格化を進めている。IEA では IEC 規格のベースとなる推奨実施要領が作成される。

## 2. 8. 1. ISO (International Organization for Standardization)

(1) 規格名称：

- ・ ISO 28902-2, Air quality - Environmental meteorology - Part 2: Ground-based remote sensing of wind by heterodyne pulsed Doppler lidar

(2) 概要：

- ・ パルス方式風計測ライダの基本機能と性能評価方法を規定する規格（作成中）。
- ・ 補足書において、空港気象、風力発電をはじめとした用途ごとの性能基準も規程。

## 2. 8. 2. IEC (International Electrotechnical Commission)

(1) 規格名称：

- ・ IEC 61400-12-1 Power performance measurements of electricity producing wind turbines

(2) 概要：

- ・ 風車の性能評価方法に関する規格（作成中）。
- ・ 補足書において、リモセン機器（風計測ライダ、ソーダ）を用いて風車性能評価する際の、機器の評価試験方法を規定。

## 2. 8. 3. IEA (International Energy Agency)

- ・ IEC 規格への提案に向け複数の TASK（専門委員会）があり、TASK32 として” Wind lidar systems for wind energy deployment” が進行中。風力発電用途向け風計測ライダ専門の委員会。規格の素案となる、推奨実施要領（RP: Recommended Practice）を作成中。

(1) RP 名称：

- Ground-based vertically-profiling remote sensing for wind resource assessment

(2) 概要：

- 地上設置ライダーを用いた風況調査方法に関する推奨実施要領（発行済）。  
上述の IEC 規格をベースに作成。

### 3. 今後期待されるライダー技術研究課題例

これまでの国内外の研究報告を俯瞰すると、大気観測用のミーライダーの分野に偏重する傾向にあるが、ライダー技術の可能性は、今後まだ多くの分野に及ぶことが考えられる。ここでは、その一部の例を示す。

#### 3. 1. イメージングライダー技術

近年、3次元イメージの取得を目的としたイメージングライダーの開発が進展している。特に車載用のライダーシステムは、自動運転実現のためのキーセンサーとして急速な開発がなされている。

システムとしては、レーザビームを走査して3Dイメージを取得するレーザスキャナーと、ファンビームを照射して散乱光を2次元のアレイセンサーで受光するフラッシュライダーに大別される。レーザスキャナーはレーザを走査する機構部が必要となるため、車両搭載を考慮すると機構部が不要なフラッシュライダーが有利である。ただし、フラッシュライダーはファンビームを送信するため、レーザスキャナーよりも検出距離が短くなる欠点がある。

どちらの方式が有望かは現状では判断できないが、各開発メーカは低コスト化に取り組んでおり、乗用車に搭載できるコストで製造できるかが実用化のネックとなる。

このようなイメージングライダーの小型化低価格化が進展すると、車載以外の様々な分野にもライダーが普及する可能性がある。特に監視領域では昼夜を問わない監視システムとして CCD カメラ等と競合若しくは補完するセンサーとしての可能性がある。その他にも衝突防止センサーや近接センサー等安全・安心社会を維持する重要なセンサーとして普及が期待される。

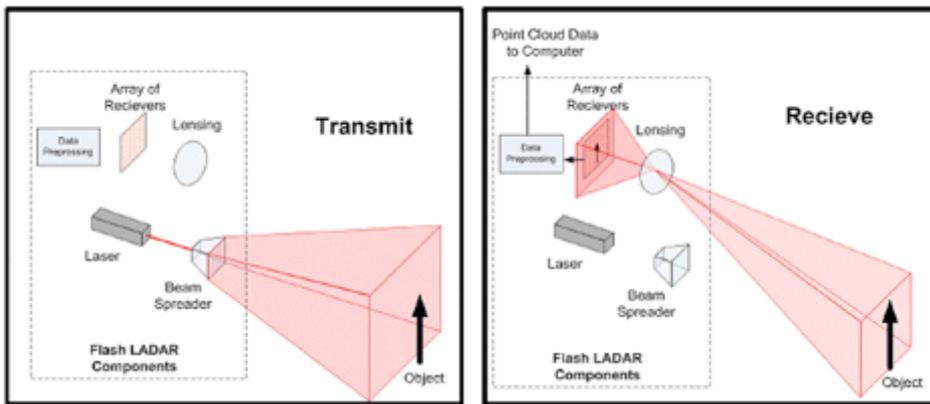


図 3.1.

(Flash Lidar の概念図(ASC 社 HP より))

(<http://www.advancedscientificconcepts.com/products/products.html>)

### 3. 2. 海洋ライダー

海洋観測へのライダー技術の適用は、現状では、大気観測ほど普及していない。海水が、空気に比べて約 800 倍の密度を持ち、レーザー光を強力に吸収・散乱するため、ライダー観測距離が3桁程度落ちてしまうことが大きな要因である。また、水分子による赤～赤外の光の吸収が強いため、大気ライダーでよく用いられる近赤外レーザを、海洋ライダーに適用することが難しい。このため、海洋ライダーの典型的な特徴として、緑色レーザによる、観測距離が数 10m 程度の、距離分解能の粗いリモートセンシング法となることが多い。また、海洋ライダーは、大気ライダーのように地上に設置して連続観測することができないため、定点連続観測に適していない。しかし、このような条件下でも、以下の様に有用な海洋ライダー技術の開発が続けられており、適用範囲は拡大している。このため、将来において期待されるライダー技術とみることができる。

#### 3. 2. 1. 上空から海面を観測するライダー

上空から海面に向けてライダー観測をする場合、大気透過部分はレーザの減衰が少ないため、長距離観測が可能となる。また、航空機搭載ライダー等により、高速移動が可能である。このため、海中からではなく、大気側から観測する海洋ライダー手法では、大気中での高速移動、及び長距離観測のメリットを活かしながら、海面付近に関する広範囲の情報を得ることができる。

##### ● 海洋クロロフィルライダー

海面に紫外や緑色等のパルスレーザを照射し、海水で発生する蛍光を上空から観測することにより、海面付近の海水中のクロロフィル濃度（植物プランクトン濃度）を推定する。人工衛星、航空機、船舶等に搭載したものが開発されている。蛍光ライダーによる海面の観測では、波浪の影響（レーザ入射角の影響）が大きいため、大気蛍光ライダーほどの安定した蛍光ライダー

信号を得ることはできない。また、大気ライダーと違って、海面下のクロロフィル鉛直分布情報を得ることが技術的に困難である。しかし、移動体搭載ライダーによる海表面クロロフィル濃度分布情報は、海洋観測にとって、海色衛星データの補正等に役立つ重要な情報となる。

- 油濁ライダー

海洋に油濁が流出した場合、海水よりも比重が軽いため、海面付近に浮遊し、100m から 100km スケールの広範囲に水平拡散する。油濁は、海洋クロロフィルよりもさらに強い蛍光性を持つため、海洋クロロフィル観測ライダーと同様の蛍光ライダー装置で、海水と油濁を区別し、昼夜に関わらず海上流出油の位置観測を行うことが可能である。これまでに、航空機、船舶等に搭載した装置が開発されている。また、観測された流出油の水平分布情報は、油濁防除作業に役立てることができる。

- 浅海域測深ライダー

浅海域の測深をライダーで行うことができる。上空から緑色のパルスレーザを照射し、海面および海底での散乱光を受光して、その時間差により、水深を計測する。海面の計測については、他のレーザ波長を用いる場合もある。測深可能距離は、海面波浪の状況、及び海水透明度に強く依存するが、海況が良ければ、数 m から数 10m のスケールの測深に有効である。航空機に搭載し、レーザ観測方向をスキャンしながら、透明度の高い海域の浅海域測深等に用いられることが多い。水深が数 m 以浅の浅海域、および海岸地形の複雑な浅海域では、測量船によるソナー測深調査が難しくなるため、航空機搭載ライダーによる測深法の有効性が増す。

### 3. 2. 2. 海中で観測するライダー

ライダー装置を防水耐圧容器に収容し、海中で観測を行う場合、海面の影響がないため、ライダー観測可能距離は長くなる。また、海中プラットフォームに搭載し、移動することで、様々な深度での観測が可能となる。海中は大気中よりも太陽背景光が少なく、深海では、昼夜とも背景光のない光環境となる。

- 海中微粒子観測ライダー

海中には、プランクトンや懸濁物質等が、集中して浮遊する領域がある。プランクトンも懸濁物質も、nm から mm まで様々なサイズのものが存在する。これらの海中浮遊微粒子は、緑色レーザや紫外レーザを用いたライダーで観測が可能であり、これまでに ROV（有索海中探査機）に搭載したライダー装置等が開発されている。観測深度は、ROV の潜航深度で決まり、観測可能距離は、海水透明度に強く依存するが、数 10m 程度の観測が実現している。

- 海中構造物観測ライダー

深海底には、海底油田採掘施設等、人工構造物が設置されている場所がある。これらの人工構造物の検査を目的として、緑色レーザを用いた 3D スキャ

ニングライダーが開発されている。ライダー観測は、ビデオカメラ撮影と異なり、人工構造物の3D形状を詳細に確認できるため、構造物の微小な形状変化の検査に適している。観測可能距離は、海水透明度に強く依存するが、条件が良ければ、数10m程度の観測が実現している。

- 深海底地形観測ライダー

海底資源探査等で利用されるAUV（無索自律型海中探査機）では、海底地形調査のセンサとして一般的にソナーが用いられる。しかし、水中音響は指向性の確保が難しいため、海底地形の計測精度にも限界が生じる。このため、より詳細に海底地形を計測することを目指した技術として、緑色レーザーを用いたAUV搭載3Dスキャニングライダーが開発されている。これまでに、水深200mの海底熱水域探査で使用され、熱水噴出孔と思われる地形が観測された例がある。

### 3. 3. 宇宙空間における紫外域レーザーの損傷リスク軽減に関する研究

宇宙空間を想定した、高スペクトル分解能ライダーの技術実証において、355nmの光学部品の損傷リスクが高いという結果が出ている。エネルギーの高い紫外線の散乱光照射による固着済み溶剤からのガス放出の可能性が高く、軌道上における紫外域レーザーの運用にあたっての大きな研究課題のひとつである。逆に言えば、紫外域でのレーザー運用における光学部品の損傷リスクの低減が達成できれば、軌道上ライダーシステムのブレークスルーとなりうる世界一の技術となる。

### 3. 4. 水蒸気測定ライダーの開発

気象モデルにおいて、運動量（風）、気温、水蒸気は基本的な物理量となっている。特に大気層のどのくらいの高度に湿潤層があるのか、というのが豪雨予測において重要な鍵となる。もし、水蒸気測定ライダーが安定的に運用できるようになれば、気象モデルへのデータ同化を行うことで顕著な気象現象の予測精度向上に大きな貢献が期待できる。

## 4. 大規模プロジェクト研究として推進すべき課題例

研究者個人あるいは小グループの研究として取り組むべき研究課題以外に、研究会をあげて取り組むべき大規模プロジェクト研究例を挙げる。

### 4. 1. 衛星搭載ライダー

#### これまでの宇宙からのライダー観測

宇宙からのライダー観測は、1994年に打ち上げられたスペースシャトル搭載のLITEに始まり、氷床高度測定を主目的としたGLAS/ICESat(2003-2010)、そして、雲・エアロゾル観測を主目的としたCALIOP/CALIPSO(2006-)へと続いた。ここまでは、Mie散乱ライダー技術が用いられたが、雲・エアロゾル観測を目的とした2015年に運用を開始したISS搭載ライダーCATS/ISSでは、高スペクトル分解ライダー(HSRL)技術が用いられ、スペースライダーとしてのHSRL技術実証も担っている。

具体化している今後のスペースライダー計画として、GLASの後継である氷床及び植生観測を目的としたATLAS/ICESat2が2017年に打ち上げを予定されている。また、植生観測として、ISS搭載ライダー-MOLI/ISSとGEDI/ISSが進行している。雲・エアロゾル観測としては、CALIOPの後継と目されている高スペクトル分解ライダーATLID/EarthCAREの打ち上げが2018年に予定されている。これまでは雲・エアロゾル・氷床・植生の観測が行われてきたが、2017年からは新たに、風を測定するスペースライダーALADIN/ADM-Aeolousの登場が予定されている。

ISS搭載植生ライダーMOLIは、国内初となるスペースライダーとなる(EarthCAREは日欧共同地球観測プロジェクトだが、ATLIDの開発は欧州である)。1980年代後半から1990年代にかけて、雲・エアロゾル観測を目的としたMie散乱ライダーELISE/MDS-2<sup>\*1</sup>や、中間圏の金属蒸気層のライダー観測<sup>\*2,3</sup>が検討された。これらのスペースライダー計画は実現には至らなかったが、ここでの技術検討(レーザー技術等)がMOLI/ISSへと繋がっている。

通称ELISE(Experimental Lidar in Space Environment)は、旧NASDA時代のライダー実証衛星(Mission Demonstration Satellite: MDS-2)計画であるが、日本におけるライダーの研究開発における重要な遺産であるため、詳細を本報告書に残す作業を行っており、第二次調査報告書で詳細を報告する予定である。今回は開発年表のみを下記に示す。

平成 07 年(西暦1995) : 概念検討実施(東芝、NEC、三菱電機)

平成 08 年（西暦1996）11 月： RFP発出、実施開発メーカー選定（三菱電機）  
平成 08 年（西暦1996）12 月： 基本設計、BTM（ベンチトップモデル）試作開始  
平成 11 年（西暦1999）03 月： PDR 審査会  
平成 11 年（西暦1999）09 月： ΔPDR 審査会  
平成 11 年（西暦1999）11 月： H-II 8号機打ち上げ失敗  
平成 11 年（西暦1999）11 月： 上記に伴うNASDA開発業務の見直し開始  
平成 11 年（西暦1999）12 月： 宇宙開発委員会において MDS-2 計画の中止が決定

※RFP Request For Proposal 提案要請（依頼）書

※PDR Preliminary Design Review 基本設計審査

#### 日本の地球観測の将来構想・計画の検討に関する動向

宇宙からの地球観測の将来計画に関し、タスクフォース会合・リモートセンシング分科会（TF）（代表幹事：安岡東大名誉教授）の地球科学研究高度化ワーキンググループ（世話人：中島 EORC/JAXA センター長）より、2015 年 9 月に提言がまとめられた（「我が国の地球観測の将来計画に関する提言」<sup>\*4</sup>）（以下、TF 提言書）。TF では、主な提言先として、Future Earth や地球観測に関する政府間会合（文科省）といった国際的プログラム、そして、宇宙政策委員会（内閣府）が挙げられている。また、地球観測利用戦略コミュニティー（文科省）との連携が成され、地球圏診断委員会（JAXA 理事長諮問委員会）等との連携も検討されている。

TF 提言書では、地球観測の将来計画に関し科学的側面から要約的（ハイライト的）にまとめられた。そして、2016 年 5 月には、世界の地球観測計画を分析し、何が足りないのか？何が冗長か？何が日本貢献として重要か？国際分担はどうあるべきか？について、衛星打ち上げ時期も鑑みてより具体的に検討され、報告書「地球観測の将来構想に関わる世界動向の分析」<sup>\*5</sup>（以下、TF 報告書）としてまとめられた。

#### TF 報告書におけるライダーの将来構想

TF 報告書のライダー計画に関する部分は、中島 EORC センター長からの依頼により杉本伸夫氏（NIES）を中心にまとめられた（共著者：水谷耕平（NICT）、石井昌憲（NICT）、岡本創（九大応力研）、林真智（NIES）、佐藤薫（東大）、菊池麻紀（JAXA）、木村俊義（JAXA）、西澤智明（NIES））。その際レーザーレーダ研究会の ML 等により要望の集約も行われた。TF 報告書でのライダー将来構想に関する

要点を以下に記す。また、TF 報告書では宇宙からのライダーミッションのロードマップが表 4.1 の様にまとめられている。

- ・宇宙からのライダー観測はこれまでに、主として雲・エアロゾル観測が行われており、米国しか成功していない (Lite(1994)、GLAS/ICESat (2003-2010)、CALIOP/CALIPSO (2006-)、CATS/ISS (2015-))。

- ・CALIOP は打ち上げ後 10 年を経過した現在も良好な観測を継続しており、短寿命と考えられてきたライダー観測技術に革新をもたらし、その利用は、表 4.2 に示すように、雲・エアロゾル研究に関する膨大な論文が発表され、この分野の研究に大きなインパクトを与えた。

- ・風観測ライダーALADIN/ADM-Aeolus (欧)、雲・エアロゾルライダーATLID/EarthCARE (欧日)、氷床高度測定ライダーATLAS/ICESat2 (米)、植生ライダーMOLI/ISS (日)、GEDI/ISS (米) が計画されている。度重なる開発遅延により打ち上げが延期されていた ALADIN/ADM-Aeolus であるが、主系従系のレーザーシステムの開発が終了し、衛星本体へ引き渡され、2017 年の打上げに向けた作業が開始されている。

- ・CALIOP から ATLID へと雲・エアロゾル観測は継続されるが、ATLID 後の計画は具体化されていない。雲・エアロゾルライダーの後継が必要とされる。

- ・ライダーは重要な宇宙技術である。MOLI は宇宙からの地球観測の日本の最初のミッションとなるものであり、技術的観点から重要である。MOLI は大気観測の機能を持たないが、後継ミッションで植生観測と同時に、後方散乱ライダーとしての大気観測機能を持たせ、CALIOP の後継としての役割を果たすことが期待される。

#### 調査委員会での検討

第 2 回衛星搭載ライダーに関する調査検討会 (2016 年 8 月 4 日、首都大学東京秋葉原キャンパスにて開催) にて、TF 報告書 (特に表 4.1 ロードマップ) を参考資料として、宇宙からのライダー観測の将来構想について検討が行われた。要点は以下となる。また、表 4.1 に以下要点を反映した。

- ・CO<sub>2</sub> 計測では精緻な大気補正が必要となる。ライダーに大気パラメータの計測機能を付加することは重要である。

- ・コヒーレント技術による大気風測定技術の研究が、国内においては NICT や三菱電機などで、また航空機の安全運航に用いるウインドシアア検知器として JAXA/三菱電機が研究開発を進めており、技術的な成熟度が着実に積みあがっている。また、インコヒーレント技術を用いた地上ライダーによる風測定の研究も首都大学等で進められている。衛星からの風観測においては、下層大気だけ

ではなく上部対流圏以上の高度での全地球的な風観測は、ライダー以外に代わるべき手段が乏しいので、コヒーレント技術だけではなく、インコヒーレント技術も活用した複合的な宇宙からの風測定（成層圏・対流圏双方の同時測定など）も検討すべきである。数値予報と共に気候変動へのインパクトの観点から、その短・中期的な観測と共に長期観測を要望する声がある。短・中期的な観測による数値予報へのインパクトが有意であることが報告されており、現実的な数値予報システムで使われる可能性もあることから、一時的な観測ではなく、長期にわたる観測システムが要望される。

- ・気温・気圧は最も基本的な気象要素であり、気象予報の観点からも必須のパラメータである。技術的難易度は高いが、将来ライダーとして計画すべき課題である。ただし、宇宙からのライダーによる3次元的气温・気圧測定が数値予報にどれほどのインパクトを与えることができるかについての総合的な検討が必要である。

- ・計測システム高度化の研究・開発に加え、取得データを用いた、全球もしくは局所的な気候、陸域・沿岸地域・防災関連の研究の推進、またデータ応用研究の研究者・コミュニティとの連携を深めるべきである。

- ・超高層分野の衛星搭載ライダーについては「地球大気観測計画（文部省宇宙科学研究所，地球大気観測ワーキンググループ，1991年1月）」において金属原子層を対象とした共鳴散乱ライダーに関する基礎的な検討が行われているが、その後の具体的な計画や進展は世界各国を見渡してもほぼ皆無と思われる。その為、超高層分野の衛星搭載ライダーは、地球大気環境の大局的な理解進展や惑星大気研究への発展性などにおける重要性に加え、現状において、独自のオリジナリティを発揮するのに最適の課題と考える。また、上からの観測となれば、紫外域など大気吸収の為に地上からは困難である共鳴散乱ライダーの可能性も視野に入れるべきである。例えば、酸素原子やマグネシウムイオンなどが興味深い。酸素原子は、人工衛星ボディ劣化の主要因であるため宇宙利用の観点で重要であり、マグネシウムイオンは、電波環境に重大な影響を及ぼすスプラディックE層の実態把握の鍵となるかもしれない。技術的には様々な開発要素があると思われるが、将来発展の期待を込めて表4.1に8年計画として記載した。8年間という期間は「地球大気観測計画」における提案をベースにしている。

#### 研究会としての課題





#### ※参考 1

NASA の HP に掲載されている 2016/5/9 現在の CALIPSO データを使用した論文件数を以下に示す。2006 年に CALIPSO がデータ取得を開始してから順調にデータ利用が進んでおり、10 年間で 1600 件あまりの論文成果が得られていることがわかる。

表 4. 2.

Year	# of Publications
in press	31
2016	90
2015	244
2014	246
2013	232
2012	213
2011	193
2010	164
2009	117
2008	66
2007	21
Total	1617

## 4. 2 航空機搭載ライダー

航空機搭載ライダー

◎研究開発状況

○海外

・水蒸気ライダー

航空機搭載ライダーの歴史は古く、NASA の LASE (Lidar Atmospheric Sensing Experiment) が DIAL による水蒸気、エアロゾル、雲の測定を行っている。搭載レーザーは色素レーザー、アレキサンドライトレーザー、Nd:YAG レーザ励起 Ti:Sapphire レーザ (815nm) と変わっており、航空機は当初比較的大型の DC-8 が用いられていたが、その後高高度 (~20km) まで飛行可能な ER-2 が用いられている。このライダーを用いて、アメリカ中西部域における深い対流の初期発生過程を研究するための大規模なプロジェクト (International H2O Project (IHOP\_2002)) において、後述のヨーロッパ所有の複数の航空機による DIAL 観測が行われ、積乱雲の発生時の水蒸気場の観測が実施された。このプロジェクトでは、DIAL の光を航空機から水平方向に照射することで、一定高度における水蒸気量の水平分布を観測する試みも行われている。より低高度の観測にはワ

イオミング大学所有の King Air に波長 355nm のラマンライダーを搭載した水蒸気の観測が行われている。

ヨーロッパではフランスの LEANDRE II (アレキサンドライトレーザ) と DLR (ドイツ航空宇宙センター) により衛星搭載ライダーに向けた準備として航空機搭載水蒸気ライダー (DLR DIAL) が開発され観測が行われている。搭載機は DLR 所有の Falcon 20、レーザは 927nm の OPO レーザで 4 波長 DIAL を搭載している。このライダーは 2008 年に日本周辺の水蒸気測定を行っている (T-PARC)。

- ・その他のライダー

CO<sub>2</sub> の測定について高度分解能測定はまだ行われていないが、地面や雲での反射を利用した長行路吸収型の実験が行われている。NASA では衛星搭載ライダーの A-SCOPE ミッションのための CO<sub>2</sub> のコラム量計測が 1.57 μm のパルス OPO レーザや変調した半導体レーザを用いて行われている。また、ESA の衛星搭載ドップラーライダー ALADIN 用の 355nm 直接検波方式ライダーのデモンストレーション用に航空機搭載測定が行われている。その他ロシアや中国でも航空機搭載ミ-散乱ライダーがガスやエアロゾルサンプラーと同時に運用されている。

## ○国内

- ・水蒸気ライダー

最終的には衛星搭載を目指した航空機搭載水蒸気 DIAL の開発が NASADA、気象研究所、都立大学のグループと三菱電機により行われた。レーザは Nd:YLF 励起 Ti:Sapphire レーザを開発し、1999 年に実際に航空機に搭載し測定実験を行った。開発されたライダーは当時世界最高性能のものであった。

- ・その他のライダー

JAXA により三菱電機が開発した変調型ライダーを用いた CO<sub>2</sub> コラム量の試験観測が行われている。大気観測用ではないが、JAXA の航空技術部門 (旧航空宇宙技術研究所) では 2001 年から晴天乱気流の検知を目的として三菱電機の 1.5 μm コヒーレントドップラーライダーを航空機に搭載し、航空機進路の 6km 先の晴天乱気流の検知に成功している。また NICT では 2004 年に 2 μm コヒーレントドップラーライダーによる観測実験を行い、高度 7km から地上までの風向風速分布の測定に成功している。さらに、宇宙ステーション搭載 2 μm コヒーレントドップラーライダーの試験観測が 2016 年に予定されている。

## ◎将来計画

日本気象学会が中心となり、日本学術会議の大型研究計画に関するマスタープランに対し「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」という提言を行い 2014 年に採択されている。大雨を予測するためには、降水システム

に流入する気塊の水蒸気量を定量的に把握する必要があるが、水蒸気量の時空間変動が降水システムの発達や維持に果たす役割や、大雨の発生に必要な下限の水蒸気量についての知見は明らかにされていない。また、大雨の発生に寄与する気塊は対流圏下層の海上から侵入してくると考えられるが、海上における水蒸気量を地上観測、もしくは衛星観測により時空間的に密に観測する技術は、現状では確立されていない。海上における水蒸気量の観測は航空機による水蒸気プローブやライダーを用いる以外に手段は無いことから、大雨の発生が予想される領域の風上側における下層水蒸気量の鉛直分布や水平分布を観測することで、降水量の予測精度の向上が見込まれることがこの提言の中で指摘されている。さらに日本列島南岸における水蒸気量の観測が具体的に提案されている。

2015年に日本の航空機観測の中核的拠点を目指して、名古屋大学宇宙地球環境研究所に飛翔体観測推進センターが設置され、各種航空機観測研究推進の体制作りが行われている。さらに、2020年「マスタープラン」の「重点大型研究計画」への採択へ向けた動きが始まっている。

航空機搭載専用の水蒸気 DIAL の開発は現在止まっているが、台風予測の高精度化など気象や災害予測の分野でその需要は非常に大きい。半導体レーザーベースの小型 DIAL であれば、そのまま航空機への搭載も可能である。今後は国内の複数の機関がプロジェクトを組んで航空機搭載水蒸気 DIAL の実績作りを行うとともに、そのノウハウを生かし、標準プラットフォームを作成し他のガスや気温測定など、新たな開発の道筋を作る必要がある。これは、将来の衛星搭載ライダー実現に向けても必須の条件である。

#### 4. 3. ネットワークライダー

設置環境のデータを計測する複数のセンサーが相互に接続されたセンサーネットワークに関する研究が IoT で使用するコア技術として行われている。多点をほぼ同時に計測できるため、物理現象の分布変化を把握するのに有効である。単に物理量を計測できるセンサー機能にとどまらず、簡単な情報処理機能と通信機能を有するスマートセンサーが開発されている。多量のセンサーを配置すると、膨大なデータを通信することになる。そこで、センサーに不具合が出て観測値にエラーが生じた場合には、センサー自身が情報を削除する機能により情報量を抑えることができる。センサーネットワークの端末はノードと呼ばれ、固定的な中継設備などを介さなくても複数のノードが協調してバケツリレー式にデータを運び、最寄りのノードを介してネットワーク内のデータを収集できるようになっていることが多い。また、ノード間の中継通信に障害がでると別の中継経路を自律的に再構築して中枢ノードへのデータ到達を確保する機能がある。

ライダー周辺技術の進歩により、ライダーの小型化と自動化が実現した。距離方向の情報を持つライダーをネットワークで接続する「ネットワークライダー」を構築することで、立体的な気象・環境情報の取得が容易になる。以下で、ネットワークライダーの現状と今後の展望について述べる。

## 現状

ライダーによりエアロゾルや風などを多点で自動観測するネットワークが国内外で稼働している。しかし、個々の観測データは直接 1 か所に集約されることが多く、特定の回線に不具合があるとデータが取得できなくなる。また、データの質の選別は集約後に行われており、ネットワークライダーの域には達していない。

## 展望

システムが簡易で全自動観測が可能なミーライダーが主流であったネットワーク観測は、近年の技術進歩によりヘテロダイン検波方式のドップラーライダーへと、ライダー手法の広がりが見られる。今後はラマンライダーやより高度な波長制御が必要な DIAL による水蒸気、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、SO<sub>2</sub> などの微量気体観測を組み合わせたネットワークライダーの実現により、発生源の特定や動態予測が期待される。気温分布のネットワークライダーの実現は、ヒートアイランド対策効果の測定、竜巻など局地的気象現象の予測などに貢献できる。

また、大規模施設や工場などの空間情報を取得することで構内環境の監視や、公共インフラや交通システムで管理施設から離れた場所の監視といった、非常に狭いローカルな環境監視の用途での普及が考えられる。さらに既存のセンサーネットワークを接続するマルチセンサーネットワークを構築することで立体的な環境情報の取得・提供が可能となり、多様な学問分野への貢献のみならず、地域・気候に適合した安心・安全な社会づくりに貢献できる。

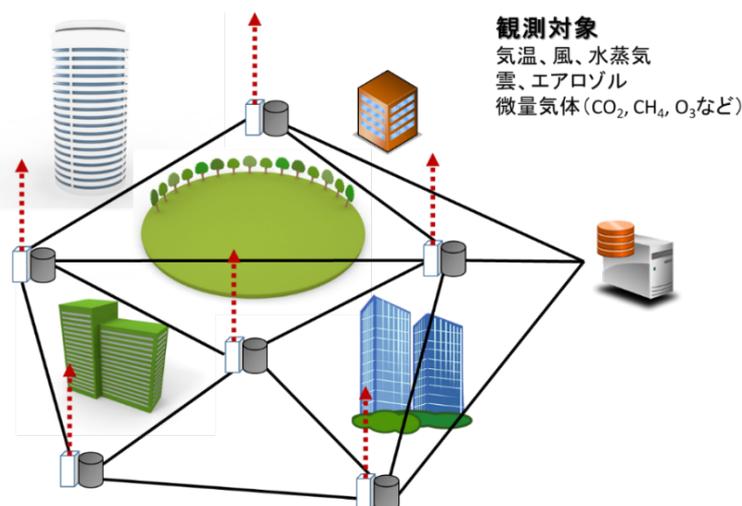


図 4.1. ネットワークライダー構成図

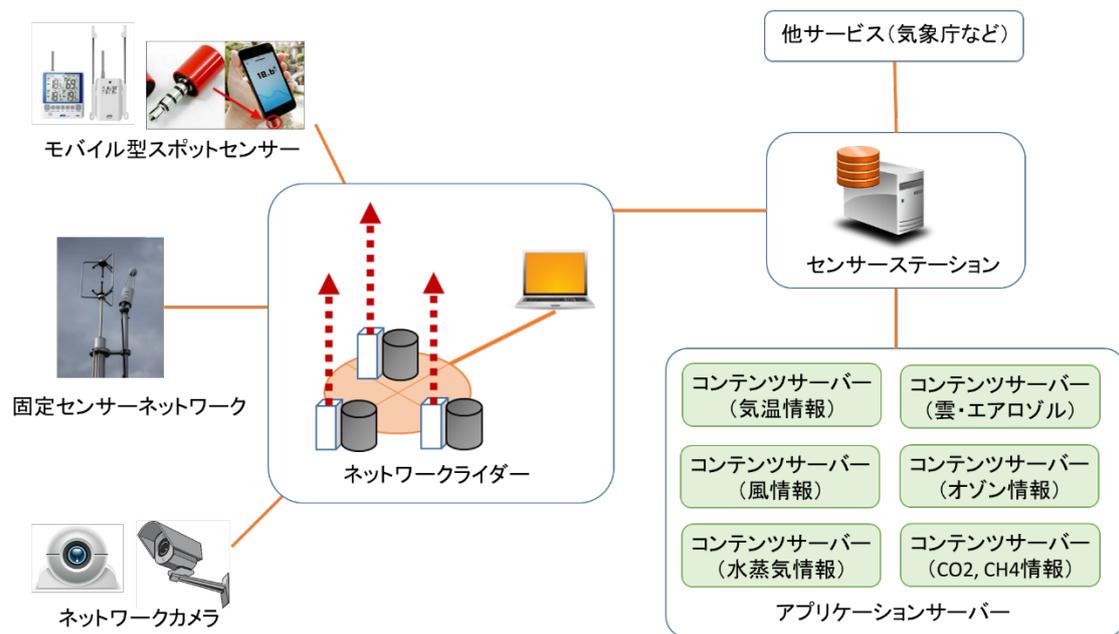


図 4.2. ネットワークライダーを核としたマルチセンサーネットワーク

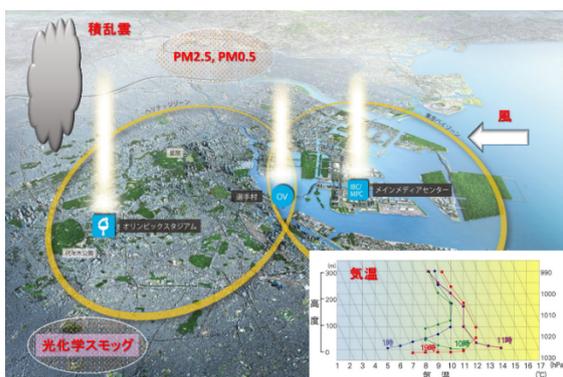


図 4.3. 都市大気環境監視



図 4.4. 大規模施設空間環境監視

## 4. 4. ライダーネットワーク

### 大気観測用ライダーネットワークの現状

大気の観測に関する世界のライダーネットワークの現状について調査したので報告する。大きなライダーネットワークとして

NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) lidar network <http://ndacc-lidar.org/>

AD-Net (Asian dust and aerosol lidar observation network)

<http://www-lidar.nies.go.jp/AD-Net/>

EARLINET (European Aerosol Research Lidar Network)

<https://www.earlinet.org/>

TOLNet (Tropospheric Ozone Lidar Network)

<http://www-air.larc.nasa.gov/missions/TOLNet/>

ALINE (Latin American Lidar Network)

<http://lalinet.no-ip.org/>

などが活動している。

NDACC は 1991 年 1 月から (当時は NDSC) 観測を開始している。世界中で 30 台以上のライダーによりオゾン、エアロゾル、極成層圏雲、気温、風向・風速などを測定している。NDACC に関する論文は、2014 年には 16 編の論文が出されており、そのうち 2 編は筆者らのつくばと Lauder における火山噴火起源の成層圏エアロゾルに関するものである。オゾンライダーに関しては NIES でも長期間観測を行ってきたが、現在は目的を達したとして観測を終了している。現在もオゾンライダーを継続しているところは、Hohenpeissenberg (09/1987-), Haute Provence (07/1985-), Table Mountain (02/1988-), Mauna Loa (07/1993-), Lauder (12/1994-) の 5 か所となっている。これらの観測結果は「Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014」に反映されている。NDACC は大気成分の長期変化の早期検出の他に、衛星データの検証にも多く利用されている。

AD-Net は NIES の杉本グループがアジアダストやエアロゾルの研究のためにやっているライダーネットワークである。20 か所以上の観測サイトが日本、韓国、モンゴル、中国、タイに展開されており、中国を除いてデータは実時間で解析され一般に公開されている。モデル研究者との協力も行っており、数多くの論文を出している。

EARLINET は、2010 年 4 月のアイスランドのエイヤフィヤトラヨークトル (Eyjafjallajökull) の火山噴火によるヨーロッパの航空機の運航停止を契機に、その重要性が認められ、現在でも多くの国が参加して活発に活動している。最近では、Nd:YAG レーザを用いた可搬型 (重量 500 kg) の多波長ラマン偏光ライダー (Polly<sup>XT</sup> と名付けている) が開発されている。また、AD-NET と同じように自動観測と実時間解析などを行いつつある。多くの機関が参加している関係上ライダー装置の相互比較や問題のあるライダーについては改良などが施されている。

TOLNet は米国の対流圏オゾンライダーネットワークである。NASA の 3 機関 (JPL, GSFC, LaRC)、NOAA ESRL、アラバマ大学ハンツビル校の 5 機関が参加している。参加している機関から考えて衛星の検証が主な目的と思われるが、他にも大気質の監視や化学輸送モデルの改良も含まれている。一方、日本での対

流圏オゾンライダーの観測は、気象研がつくばで、国環研が佐賀で行っている。首都大東京はインドネシアで圏界面付近のオゾン観測を中心に行っている。また、佐賀のオゾンライダーは GOSAT TANSO-FTS TIR から算出される対流圏下層のオゾンカラム量の検証にも利用されている。2015 年 8 月東京のオキシダント濃度の最高値は 190 ppb（環境基準は 60 ppv、注意報基準は 120 ppb に比べて非常に高い値）に達した地点もあり、最近注目を集めている PM2.5 に比べてもみてもオキシダント問題は依然として解決されていない重要な環境問題である。

ALINE はアルゼンチン、ブラジルなどラテンアメリカを中心にしたライダーネットワークである。オゾンホールがアルゼンチンの一部にかかったり、チリで火山噴火が発生したりすることからこのライダーネットワークも発展しつつある。

ところで、ライダーネットワークを長期間維持するのは、科学的要請の変化や資金面などから、なかなか難しい問題である。エアロゾルや対流圏オゾンは環境や気候への影響等などから今後もライダーネットワーク観測が必要と思われる。一方、大水害や大規模土砂災害などの防災面から、対流圏下層の水蒸気の収束などを災害が発生する前に検出できる水蒸気ライダーなどのネットワーク観測が日本では望まれている。

### 推進すべきプロジェクト研究

課題名：2020 年夏季オリンピック期間を対象とした関東地域の局地的豪雨・高濃度大気汚染を予測するための超先端ライダーネットワークの構築

アメダスの観測によると 1 時間降水量 80mm 以上の年間発生回数は近年増加してきている。また、2015 年 7 月 26 日東京練馬のオキシダント濃度は 200ppb に近い値を記録し、警報基準（240ppb）寸前まで達している。このことから、安心して大会を行うために早めの予測が必要。大会だけでなく住民生活にも重要。

必要なライダー

気象関係：水蒸気 DIAL、水蒸気ラマンライダー、ドップラーライダー、気温ライダー他

大気汚染関係：ミーライダー（エアロゾルのタイプを推定できるライダーも必要）、PBL 用ライダー、オゾンライダー、CO2 DIAL、CH4 DIAL、NO2 DIAL 他

## 5. まとめ

本報告書はレーザーレーダ研究会の構成員の国内外のレーザーレーダ研究に関する動向の理解と取り組むべき課題の整理を行ったものである。ただし、本報告書は必ずしも全てのライダー関連分野を網羅するものでも、客観的評価を得たものでもないが、今後の議論の出発点となることを期待するものであり、分析や課題についてさらなる詳細な検討が必要である。

### 執筆者名簿

#### 委員会名簿

首都大学東京 長澤 親生 (委員長)

電気通信大学 津田 卓雄 (幹事)

気象庁 青柳 暁典

国立環境研究所 内野 修

三菱電機 亀山 俊平

宇宙航空研究開発機構 境澤 大亮

海上技術安全研究所 篠野 雅彦

千葉大学 椎名 達雄

福岡大学 白石 浩一

明星電気 横沢 剛

#### 追加執筆者名簿

首都大学東京 阿保 真

首都大学東京 柴田 泰邦

国立環境研究所 西澤 智明