

VAISALA

テクニカルペーパー

ヴァイサラCL61とFD70が
実現する、航空業務のため
の卓越した状況認識
- 事例研究

ヴァイサラは、航空気象向けセンサの最先端技術を根本的に変える2つの新しいセンサを開発しました。ヴァイサラFD70 前方散乱方式 視程計・現在天気計・ディスドロメータと偏光解消計測機能を備えたヴァイサラCL61 ライダーシーロメータを使用することで、地上気象と高層気象の両方を非常に優れた正確さで観測できます。

このテクニカルペーパーでは、これらの新しいセンシングプラットフォームに採用されている技術について説明したのち、これらのセンサを組み合わせることで気象予報士や航空業務の意思決定者に提供される、かつてないレベルの状況認識について解説します。また、2022年1月にフィンランドのヘルシンキで冬季特有の気象現象が発生した際に両方のセンサが実際に活用された事例についても紹介します。

1 ヴァイサラFD70 前方散乱方式 視程計・現在天気計・ディスドロメータ

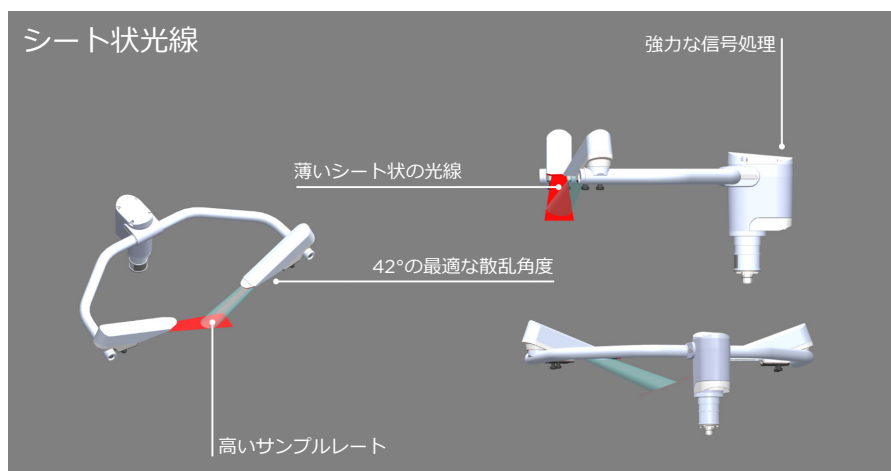


図1：薄型シート光線技術を採用したヴァイサラFD70 前方散乱方式 視程計・現在天気計・ディスドロメータ。

ヴァイサラFD70 前方散乱方式 視程計・現在天気計・ディスドロメータは、市場で入手可能な視程計と現在天気計の中で最高レベルの性能とコストパフォーマンスを提供します。さまざまな構成で提供することができ、最もシンプルな構成として、滑走路視距離用の視程計に特化して使用することができます。最上位性能構成のFD70では、個々の降水粒子を判別し、現在天気、降水タイプ、降水強度、降水量、雨滴サイズ分布、レーダー反射率、雨滴落下速度分布、および運動エネルギーをレポートすることができます。

薄型シート状光線技術

FD70の非常に高い精度は、従来の前方散乱センサの円錐状の光線に代わ

り、FD70の投光器ヘッドから放出される非常に薄いシート状の光線を使用する薄型シート状光線技術により実現しています。この独自の技術により、FD70は、他のすべての視程計や現在天気計のように標準的な体積平均法を用いるのではなく、粒子単位で散乱体进行评估することができます。

この粒子単位での検知は、5MHzという非常に高速なスキャンレートが採用されているため、センサは各粒子のサイズ、種類、落下速度を正しく評価できます。この技術を使用することで、FD70は、大気中の散乱体の雨滴サイズ分布 (DSD) を特性評価でき、直径が0.1mmから最大35mmまでの粒子を41のサイズクラスで検出できます。

今までにないレベルの現在天気の正確性

過冷却状態の降水タイプ（着氷性の雨および着氷性の霧雨）は、前方散乱センサにおいて常に究極の課題となってきました。ヴァイサラの特許技術である薄型シート状光線技術を外部温度セン

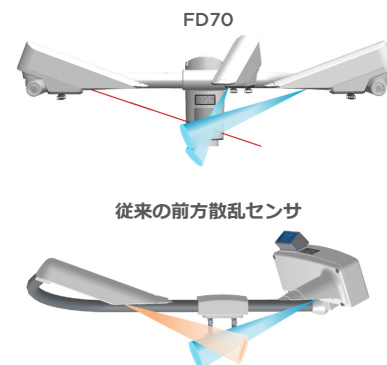


図2：2つ目の受光器ヘッドを備えたヴァイサラFD70 前方散乱方式 視程計・現在天気計・ディスドロメータと典型的な従来の前方散乱センサによる検出結果の比較。

サと組み合わせて使用することで、この点に関してFD70に大きなメリットがもたらされましたが、ヴァイサラはさらに2つ目の受光器を追加して、センサの性能を今までにないレベルに高めました。この構成により、極めて重要な現象を判別するときに根拠が不十分な推測をすべて排除できます。

2つ目の受光器により、特に着氷性降水、固形降水、みぞれの場合の粒子タイプをより正確に評価できるようになり、さらにFD70は砂塵嵐での視程を、前方散乱センサで可能であったよりもはるかに

高い精度で評価できるようになりました。FD70は、各粒子の散乱信号特性を2つの異なる角度からスキャンするため、液相と固相をより確実に判別できます。このアプローチにより、固体粒子と液体

粒子を区別する性能が向上し、FD70は、他を圧倒する現在天気の見別能力を実現しています。

2 ヴァイサラCL61 シーロメータ



図3：ヴァイサラCL61 シーロメータ

ヴァイサラは、1980年代にデュアルレンズのCT12Kを発表して以来、シーロメータの市場を牽引し続けています。CT12Kの導入実績は、全世界で2,000基を超えました。1990年代にヴァイサラはシングルレンズのCT25K シーロメータを発表しました。市場シェアはさらに拡大し、2,500基を超える新しい装置が世界中に配備されました。シングルレンズ技術は、デュアルレンズ技術では不可能な大気圏の最下層の検知能力など、デュアルレンズシーロメータが抱えていたいくつかの問題を解決しました。

2000年代にヴァイサラはCT25Kの性能を大幅に向上したCL31を発表しました。CL31は、より高層にある雲の検知が可能となり、信号対雑音比も大幅に向上されました。これにより、シーロメータを境界層のプロファイリングに使用できるようになり、2010年にはさらに高性能なCL51が発表され、高度15kmまでの大気を評価できるようになりました。

ヴァイサラのエンジニアはイノベーションの限界に挑み続け、2022年には、最先端技術を根本から変える偏光解消計測機能を備えたCL61 ライダーシーロメータを正式リリースしました。二重偏波気象レーダーによって大気気象の識別性能がこれまでにないレベルに向上し、降水量の推定精度が改善されたのと同様に、垂直方向

を検知するライダーシーロメータからのボックスキャッタを評価することで、大気の微物理に関する新しい洞察を得ることができます。

偏光解消の詳細

ライダーシーロメータは、直線偏光レーザーパルスを発射します。この光の一部が散乱して計測機器に戻ると、偏光方向が変わる可能性があります。この偏光解消は、散乱体の形状や向き、レーザー波長によって大きく変化します。受光器に戻ってくるレーザーパルスは、180°のボックスキャッタ角度において、水雲の水滴や小さな雨滴などの均一な球形散乱体と相互作用します。散乱事象の対称性により、検出された反射信号では偏光は解消されません。

ただし、非球形の固体粒子は、固体-気体界面での多重内部反射により、大きな偏光解消を引き起こす場合があります。ま

た、底面が平らな大きな雨滴も、一定の偏光解消を引き起こします。ライダーの偏光解消の程度は、偏光解消度(LDR)で表すことができます。LDRは、垂直偏光または交差偏光(XPOL)成分と水平偏光(PPOL)の信号成分の比率であり、ゼロ以上の値を示します。PPOLは大気中の粒子の主要なボックスキャッタ信号成分であるため、最大LDR値は1未満になります。粒子と空気分子の双方が偏光解消の程度に影響し、

これらの両方の成分が含まれているものは、体積偏光解消度(VDR)として知られています。正確な偏光解消計測には、埃、煙、火山灰、境界層のエアロゾルなどによる比較的高いボックスキャッタが必要です。CL61 ライダーシーロメータは、VDRを計測します。鉛直偏光解消度プロファイルにより、液相と固相の降水、雲相、融解層など、複数の気象現象を容易に識別することができます。液相の散乱体の値はほぼゼロであり、複雑な氷晶状の散乱体のより大きな値とは明らかに識別することができます。

この計測により、固相、液相、または混合相の雲と降水とを判別することができます。着氷状況などに関する必要性の高い情報が得られます。さらに、埃や火山灰も液体粒子とより確実に区別することができます。図4は、さまざまな散乱体のおおよそのLDR値の範囲を灰色の帯の幅で示しています。

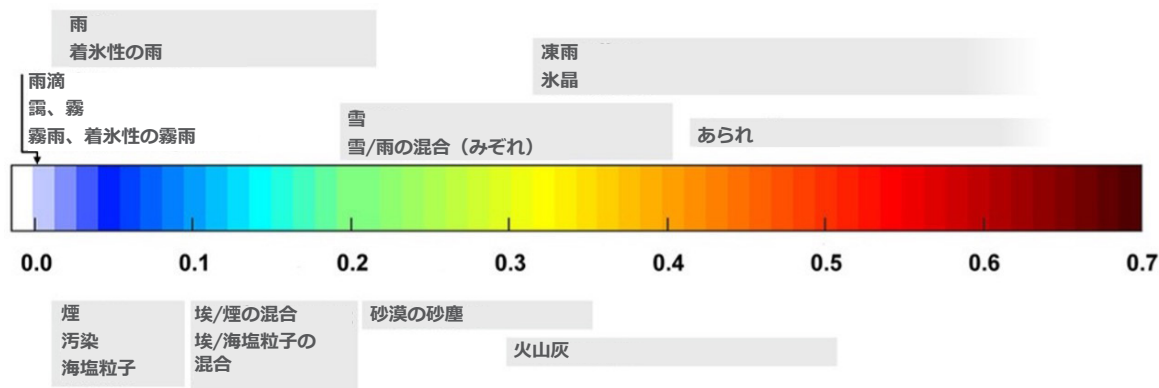


図4：偏光解消度（LDR）計測値のおおよその範囲

事例研究 - 2022年1月2日のヘルシンキ空港での着氷性の雨

ここで紹介する事例研究は、2022年1月2日にヘルシンキ国際空港で発生した着氷性の雨に関するものです。フィンランド気象研究所（FMI）は、2つの受光器を装備したヴァイサラFD70 前方散乱方式視程計・現在天気計・ディストロメータに加えて、偏光解消計測機能を備えた新しいヴァイサラCL61 シーロメータをこの空港で運用しています。これらの新しいヴァイサラセンサを使用することで、現場の気象観測者による状況認識が大きく向上します。

バックスキャッタ係数（初見）

図5は、CL61から得られたバックスキャッタプロファイルです。x軸は24時間形式の協定世界時（UTC）を示し、y軸は最大2kmの高度を示しています。カラースケールは、バックスキャッタ係数の強度を示しており、黄色は高い信号レベル（雲などからの信号）を表し、灰色の部分は低い信号強度の領域を表します。

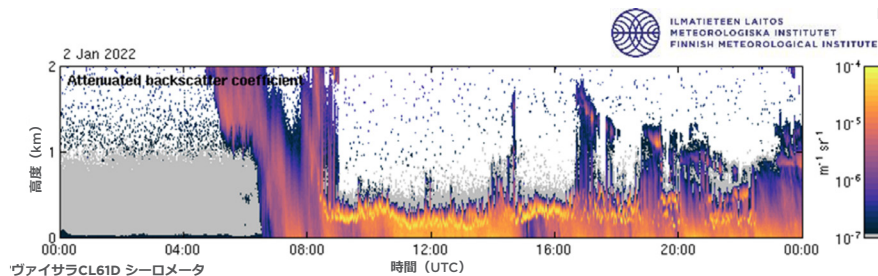


図5：2022年1月2日のヴァイサラCL61によるバックスキャッタ係数の時系列プロット。

図5は、04:00（UTC）過ぎに、下降する雲を伴って典型的な気象前線が接近している様子をはっきりと示しています。この雲により降水が発生し、この降水は06:30（UTC）頃に地上に到達しています。08:00以降のデータには、明るい黄色の線で示される低層雲が確認でき、その後も継続して降水が発生しているのがわかります。このような情報をユーザーはシーロメータのバックスキャッタプロファイルから確認でき、雲底高度と空の状態に関するデータのみを受け取るよりもはるかに役立ちます（両方のパラメータはCL61からも入手することができ、METAR観測に含めることができます）。

偏光解消度（より深い洞察）

CL61の偏光解消の鉛直プロファイルを見ると、さらに多くの情報が得られます。気象観測者は偏光解消度を見て液相と固相の降水を（地表と上空の両方で）特定することができます。これは、多くの場合（この事例のように）最も重要な情報です。図6は、図5と同じ時間帯における偏光解消度の鉛直プロファイルを示しています。x軸とy軸は前の図と同じですが、色は0から0.3までの偏光解消度を表します。ここで、0に近い値（青色）は液相の降水を意味し、0.15を超える値（黄色から赤色）は固相または混合相の降水の存在を意味します。

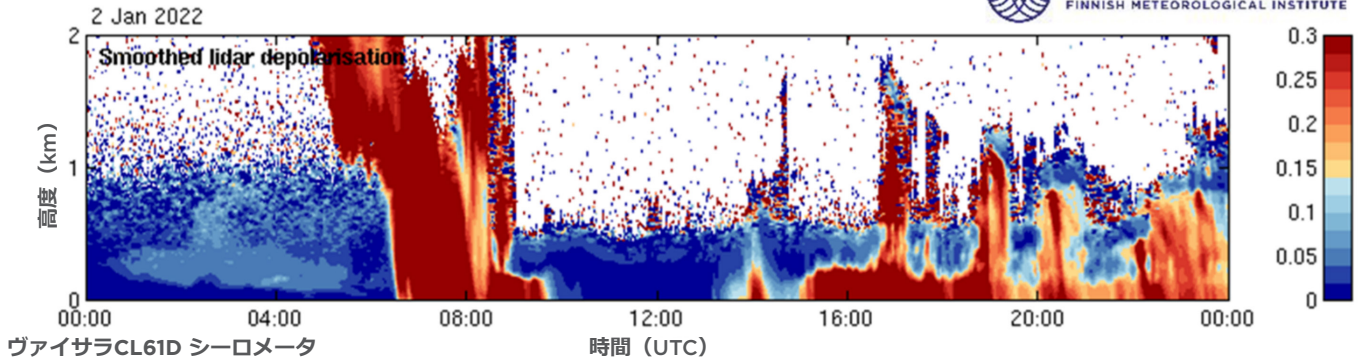


図6：2022年1月2日のヴァイサラCL61による平滑化されたライダー偏光解消度の時系列プロット。

06:30 (UTC) に地上に到達した降水は固相の降水であることがわかります。また、現地の気温は終日0°Cを下回っていたため、降雪と解釈できます。09:30 (UTC) 頃に固相の降水は終了しますが、バックスキャッタープロファイルからわかるように、その日の以降の時間は降水が続いていたので、観測者は液相の降水が発生していると解釈できます。気温は引き続き氷点下であるため、着氷性の雨 (FZRA) または着氷性の霧雨 (FZDZ) の存在を示していると解釈できます。午後には、降水が液相から固相に変化するため、降雪が再び発生していると解釈できます。

FD70のデータが示すもの

図7は、FD70から得られたWMO (世界気象機関) 4680現在天気コードを示しています。FD70は、02:00 (UTC) に数分間の氷晶 (気温-11.4°C、相対湿度94%) を報告し、06:35 (UTC) から雪を報告

しています。雪から着氷性降水への移行は、CL61のプロファイルから解釈したものとよく一致しています。

FD70が着氷性の霧雨を最初に報告したのは10:15 (UTC) であり、着氷性の霧雨を検知する前にFD70は霧雪 (WMO 4680コード77) を何度も検知しています。着氷性の霧雨は、13:00 (UTC) 頃に雨と雪の混合 (WMO 4860コード67~68) に変わっています。これは、CL61の偏光解消度のグラフでもよくわかります。偏光解消度の値は明らかにゼロを超えていますが、純粋な雪に相当するレベルではありません。

目視観測による報告との比較

この事例では、目視観測も同じ計測場所で行われていました。次の図では、人が作成したMETAR観測と比較するために、観測者が報告した降水タイプの変化を青色の縦線で示しています。

目視観測による降水タイプは、CL61およびFD70から得られた発生や他の降水タイプへと変化するタイミングが非常によく相関しています。特に注目したいのが、着氷性の雨と着氷性の霧雨が発生した部分です。この時間帯は空港で大量の着氷が発生し、空港運営において遅延やメンテナンス作業が発生しました。

過冷却降水検知センサとの一致

FMIでは、空港での着氷を計測するために、過冷却降水検知センサを運用しています。図9は、同じ日にそのセンサから得られたデータを偏光解消度および目視観測による現在天気観測に重ねて表示したものです。着氷はy軸上にmm単位で示されており、着氷性の雨や着氷性の霧雨が降っている間にセンサが約3.5mmの着氷を計測したことがわかります。

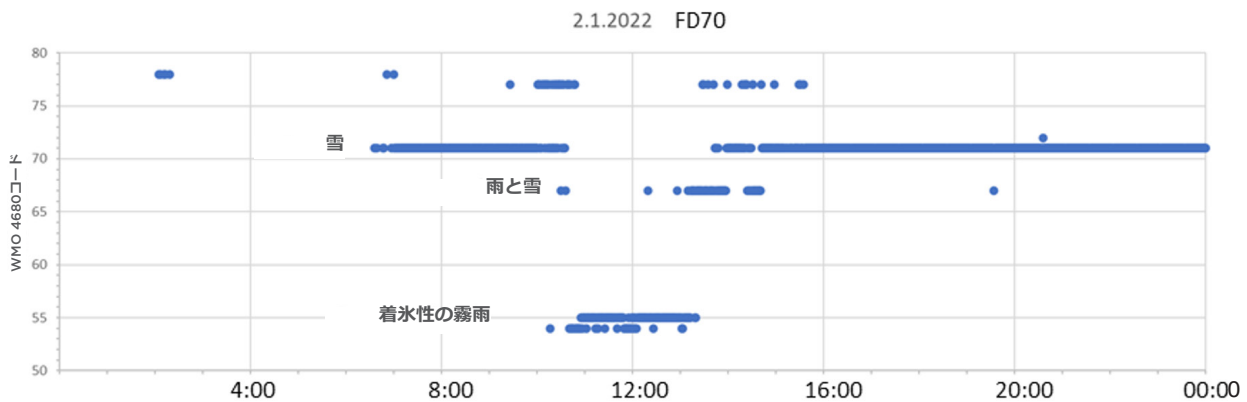


図7：2022年1月2日のヴァイサラFD70によるWMO 4680コードの時系列プロット。

過冷却降水検知センサによって計測された着氷は、CL61およびFD70による降雨観測と非常によく相関しています。また、同じ日の日中には、着陸態勢の航空機から空港に次のような特別な報告がありました。

ARS FIN2XL MOD ICE OBS AT 1650Z
N6019 E02457 BLW 4000FT=

パイロットによるこの報告は、16:50 (UTC)、高度1,220メートル未満において機体に中程度の着氷があることを意味します。この航空機は、高度約1,830メートルに達した時間にCL61のプロファイルデータに見られる氷晶雲を通過した可能性があります。このように、気象予報士や観測者がこれらの新しい計測値とその解釈方法に慣れると、CL61からのデータが非常に大きな価値を持つことがわかります。気象レーダー分析でも同様の情報を得ることができますが、冬季の降水の多くは地表付近で発生するため、大気の最下層部分を観測するには、レーダーの近接性が非常に重要となります。

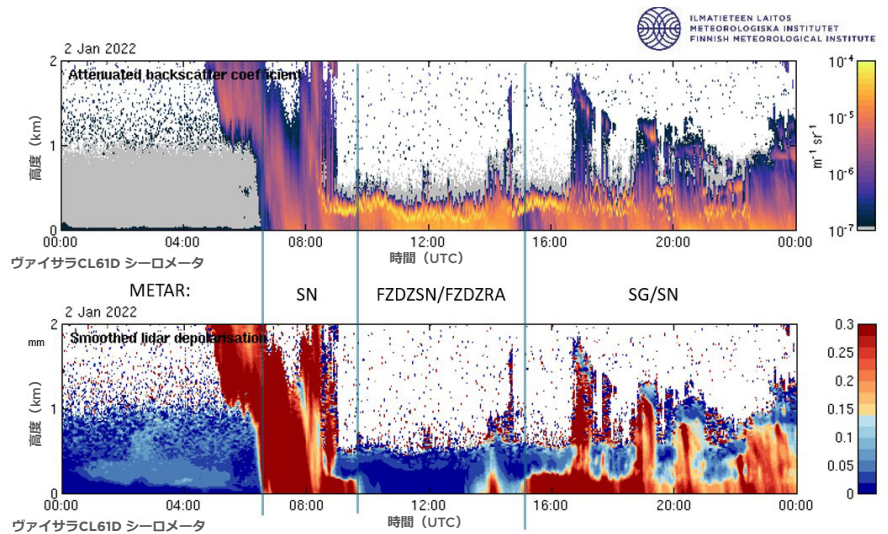


図8：2022年1月2日のCL61によるバックスキャッタ係数および平滑化されたライダー偏光解消度と観測者が作成したMETAR降水タイプの比較。

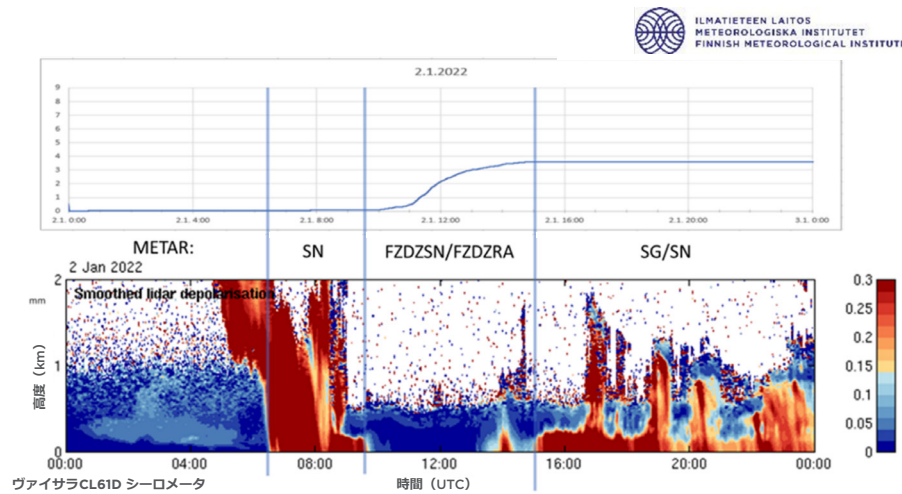


図9：2022年1月2日にヘルシンキ空港で計測された着氷を示すプロットとCL61による偏光解消度のプロットにMETAR現在天気観測を重ねたもの。

4 まとめ

この事例研究は、偏光解消計測機能を備えた新しいヴァイサラCL61 シーロメータの機能が、実際の空港運営での状況認識の向上につながることを示しています。CL61では、上空で発生している現象についての詳細な情報が得られ、FD70 前方散乱方式 視程計・現在天

気計・ディスドロメータでは、地上に到達する降水タイプと降水の強度を正確に確認できます。

CL61とFD70を組み合わせることで、航空機の運航に大きな影響を与える着氷状況をこれまでになく正確に認識するこ

とができます。これらのデータを活用することで、現場の気象担当者は、重要な判断を適切に下し、状況をより正確に予測できるため、地上と上空の両面において飛行場の安全性がさらに向上します。

詳細については、以下をご覧ください。

<https://www.vaisala.com/ja/CL61> | <https://www.vaisala.com/ja/FD70>

地上から高層まで、信頼できる航空気象を提供

VAISALA

[vaisala.com/ja](https://www.vaisala.com/ja)

詳細は以下よりお問い合わせください。
www.vaisala.com/ja/contactus

Ref. B212670JA-A ©Vaisala 2023

本文書は著作権保護の対象となっており、すべての著作権はヴァイサラと関連会社によって保有されています。無断複写・転載を禁じます。本文書に掲載されているすべてのロゴおよび製品名は、ヴァイサラまたは関連会社の商標です。私的用途での使用（複製、送信、頒布、保管等を含む）することは、事前に当社の文書による許諾がないかぎり、禁止します。技術的仕様を含め、すべての仕様は予告なく変更されることがあります。