

## 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 5月 18日 現在

機関番号： 12501

研究種目： 基盤研究(B)

研究期間： 2008 ～ 2011

課題番号： 20310005

研究課題名(和文) 船舶搭載高感度雲レーダによる全地球規模の雲分布観測と解析

研究課題名(英文) Observations and Analysis in Global Distribution of Clouds using the High Sensitivity Cloud Profiling Radar on Board a Research Vessel

研究代表者

鷹野敏明 (TAKANO TOSHIAKI)

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号： 40183058

研究成果の概要（和文）：高感度ミリ波雲レーダ FALCON-I を船舶搭載し全地球規模の雲観測を実施した結果、南西太平洋海域と北極海域で、雲の高度分布は 0-11 km と 0-7 km、雲雨の出現率は 10% と 50%、雲の種類は 積雲系が 95% と 層雲系が 90% と、性質が大きく異なることがわかった。また、積乱雲のドップラ観測から、融解層直下 100m 程度で粒径 1mm 程度の雨滴が形成され、最終速度で降下していることなどが明らかになった。

研究成果の概要（英文）： Observations and analysis of clouds have been done with the high sensitivity cloud profiling radar FALCON-I, Chiba University, to investigate global distribution of clouds. Cloud height distributions in southwest region of the Pacific Ocean and in the Arctic Ocean are 0-11 km and 0-7 km, fraction rates of clouds/rain are 10% and 50%, and kinds of clouds are 95% cumuli and 90% strati, respectively. Doppler observations of a cumulonimbus revealed that rain droplets up to 1 mm in diameter are promptly generated after passing through the melting layer as narrow as ~100m.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：地球規模水循環変動、環境計測、高感度雲レーダ、船舶搭載観測、全球気候、雲分布、高分解能レーダ

## 1. 研究開始当初の背景

地球上の気候変動や温暖化などを考える上で、エネルギーと水のグローバルな循環・収支を知ることが必要不可欠である。その上で最も重要でありながら現時点で未知な部分の多いものは、雲の特性である。雲は、太陽からの光エネルギーを反射・吸収するのみな

らず、地表からの放射を反射・吸収する。また、吸収したエネルギーを伝達し、雲自らの成長・変化をもたらす。さらには最近では NOx などの公害物質の影響で水滴核が変化し、雲の性質に南北差（文明差）が生じているのではないかとの報告もある。このように基本的な項目であるにもかかわらず、雲中の水及び

氷粒子の性質や分布は、未だ詳細には解明されていない。

どのような性質を持った雲粒子がどのように雲中に分布しているか、その3次元構造を知るためにはレーダによる観測が大変有効である。また、雲粒子の運動状態を知るには、ドプラー観測が不可欠である。人工衛星からの可視光による撮像では、雲の内部構造や運動状態がわからない。同じく可視光を用いたライダー観測では、薄い雲の3次元構造しか解明できない。また、従来多く行われてきた波長数センチのセンチ波帯のレーダは、雨滴に対する感度はあるが、それより格段に小さい数十マイクロンの雲粒子に対してはほとんど感度がなく、上述の目的には適していない。散乱物体が波長に比べて小さい、電波領域でのレイリー散乱の場合、周波数の4乗に比例して散乱断面積が増加する。従ってミリ波を用いれば、その周波数が高いことから、雲粒子による散乱断面積が格段に大きくなり、上記の観測に適している。

このような背景から、我々は2001年度から2004年度まで、科学技術振興機構 戦略的創造事業「アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調について（代表：中島映至 東大気候システム研究センター教授）」英語名“Asian Atmospheric Particle Environment Change Studies”（略称 APEX：以下本文中で使用）プロジェクトの下に、95GHz（波長 3.2mm のミリ波）で地上からの観測に用いるレーダを独自に設計・開発した（愛称；以下 FALCON-I と呼ぶ。図1参照）。FALCON-I は低出力かつ高感度を達成しており、これを用いた雲の観測において優れた性能を示している。



図1. トラックの荷台に搭載された高感度ミリ波雲レーダ FALCON-I。後ろの白いコンテナが船舶搭載用で、FALCON-I をその中に設置する。

我々は、この FALCON-I を用いて全地球規模の雲観測を開始し、太平洋の北西海域や北極海の一部、さらにインド洋東海域など、広い海域での雲観測を実施してきた。

FALCON-I は、FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave: 周波数掃引連続波) 型のレーダであり、通常用いられるパルス型と比較

して、距離および時間分解能が高くできる、連続的に観測しているので実効観測時間が長く感度が高くできる、低出力が可能である、などの優れた特長を持つ。気象用レーダでは、現在使用されているものでは 95GHz が最も高い周波数であり、そのうち FMCW 型のレーダは、我々のほかはドイツ、イギリス、およびアメリカのグループのみが開発を手がけている。そのうち、ドイツとイギリスのグループが開発しているレーダは、まだ実用にはいたっていない。一方、アメリカのベンチャー企業が開発したレーダは、我々の FALCON-I に較べて感度が2桁以上悪い。

以上述べたように、我々が開発したミリ波雲レーダは、雲を捉える装置としては世界で最も優れたレーダであるといえる。このように特徴ある優れた装置で、全地球規模の雲と雨の観測を行うことは、他の国・グループの追従を全く許さない研究であり、その意義は大きいといえる。

## 2. 研究の目的

以上の背景から、高感度のミリ波雲レーダを用いて全地球規模の雲分布を観測し、地球温暖化に影響をおよぼすエネルギー収支などの問題解明に寄与することが目的である。

## 3. 研究の方法

### (1) 全地球規模の雲雨の観測

2004年 から 2006年 にかけて、我々は FALCON-I を(独)海洋研究開発機(JAMSTEC)の海洋地球研究船「みらい」に搭載し、太平洋の中北部、北極海、インド洋などで雲観測を開始した。本研究期間中は、これをさらに進めて、南太平洋および北極海、インド洋などの広い海域での観測を実施した。

### (2) 地球規模での雲分布・構造解明

地球上の広い海域で観測した雲のデータを解析し、衛星からのデータなどと総合することで、さまざまな海域・種類の雲について、構造、発生消滅、内部運動、乱流状態、雲水氷量、などについて、多角的で詳細な解明を行う。特に、海洋ごとの雲と雨の存在率、垂直構造、などの量を、1つの装置で均質なデータに基づいて導出することは、地球温暖化に結び付くエネルギー収支の問題解明に向けた、グローバルな気候モデルシミュレーションなどに有用となる。

### (3) 走査型ミリ波レーダの開発

これまでに我々は、高感度低出力のミリ波雲レーダ、FALCON-I を独自に開発してきた。この経験を生かし、走査型のミリ波雲レーダの開発を行った。FALCON-I は、本研究開始時は天頂真上方向のみの固定観測しか

できなかつた。天頂のみの観測は、長期間の観測により雲の長期変動を解明すること、船に搭載して海域全体の雲の統計的量の測定などに適していた。しかし、FALCON-I は空間分解能が  $0.2^\circ$  と、通常の X バンド(10GHz 帯)レーダや衛星搭載の光学赤外・マイクロ波などの観測装置に比べて極めて高い分解能を持っていることから、逆に分解能が高すぎて、他の装置の結果との直接比較がかえって難しいという、贅沢な悩みを持っていた。そこで、天頂付近の数度の範囲を走査できる、走査型レーダの開発を行った。走査型レーダは、個々の雲の 3 次元構造の詳細などを観測するのに適している。

#### 4. 研究成果

##### (1) 船舶搭載ほかによる観測

研究期間中に、以下のように FALCON-I を(独)海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」に搭載して、雲観測を行った(図 2 参照)。



図 2. (独)海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」(上写真)と、船尾甲板上に搭載された高感度ミリ波雲レーダ FALCON-I(下写真の矢印)。

2008 年度: 5 月～8 月 日本近海, 南西太平洋  
 8 月～10 月 ベーリング海, 北極海  
 10 月～11 月 北西部太平洋  
 2010 年度: 4 月～5 月 日本～南西太平洋  
 5 月～6 月 南西太平洋～日本  
 2011 年度: 8 月～9 月 日本～南西太平洋  
 9 月～11 月 インド洋北東部  
 11 月～2 月 インド洋南部, 南太平洋

以上のように、4 年間(48 か月)の研究期間のうちの 1/3 にあたる 約 16 か月の間、高感度ミリ波レーダ FALCON-I は「みらい」による船舶搭載観測を行った。このような長期の観測を通じて、FALCON-I はほぼ順調に稼働し、安定で均一な雲データを提供することができた。このような観測データは、全地球的な雲分布の評価・解析をする上で、非常に貴重なデータベースとなる。

##### (2) 雲分布・構造の解析

研究期間に得た、前述の雲観測データを中心に、他の観測装置やモデル計算結果などを取り入れ、解析を進めてきた。その結果、全地球規模の雲分布・構造に関して、以下のような結果が得られた。

- ① 南西太平洋海域と北極海における雲観測結果から、雲と雨の海上での出現率は、前者が 10% 足らずであるのに対して、後者では 50% になることが明らかになった。この結果は、国際学会等で発表し、論文にした。
- ② 南西太平洋海域と北極海で、雲の高度分布は、前者が高度 11 km 程度まで分布しているのに対して、後者では 7 km 程度までの分布に留まること、前者では積雲が 95% を超えるのに対して、後者では層雲の状態が 90% 程度で、積雲など対流性の雲の存在率が低いことがわかった。また、南西太平洋海域で発生する、大規模な大気波動現象について、雲頂高度の変動からその存在を明確に示し、特性解明を行った。
- ③ 積乱雲融解層の詳細なドップラ観測結果から、融解した氷粒子は 100 m 程度落下するうちにすぐに粒径 1 mm 程度の雨滴に発達し、終端速度の 6 m/s に加速されていることがわかった(図 3 参照)。

また、積乱雲の X バンド(10 GHz センチ波帯)および可視画像との比較解析を行い、ミリ波の FALCON-I では X バンドレーダに較べて 10-20 分早く、積乱雲の発達を検出できていることを明らかにした。この結果は論文として発表した。



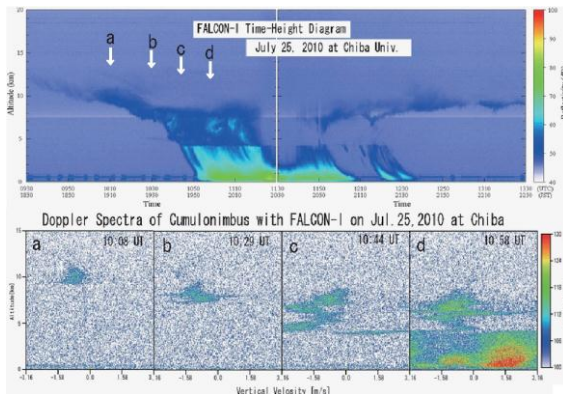


図 3. 積乱雲を捉えた強度-時間図(上図。縦軸は高度 0-20 km、横軸は時間で 2010 年 7 月 25 日 9:30-11:00 UT)と、a~d の時点のドップラスペクトル図(下図。縦軸は高度で 0-15 km、横軸はドップラ速度で各パネルの中央が速度ゼロで  $\pm 3.2$  m/s のドップラ速度範囲で表示されている。負の速度が降下していることを表している。ただし、レーダ電波の位相を検出してドップラ速度に換算しているため、位相の  $2\pi$  不定性があるため、 $\pm 3.2$  m/s の範囲を超えた対象は、折り重なって表示されている。)。強度図の高度 4 km 付近に、雲と雨のくっきりとした境界が融解層として見えており、融解層発生時 c のドップラスペクトル図(図 3 の下図 c)には、高度方向の厚さが 100 m 程度の、極め薄い構造が見え、雨滴が急激に加速されていることがわかる。

- ④ ミリ波レーダを搭載した NASA の雲観測衛星である CloudSAT の観測結果と高感度ミリ波レーダ FALCON-I の同一時間同一場所の観測結果を比較したところ、両者はほぼ一致するが(図 4 参照)、雲の空間変動が大きい場合には、両者が捉えている体積が大幅に異なっていることから、一致しない事例もあることがわかった。

CloudSat (94GHz) VS FALCON-I (94.79GHz)  
CASE01 : 2008-Feb-23 04:54Z at Hedo

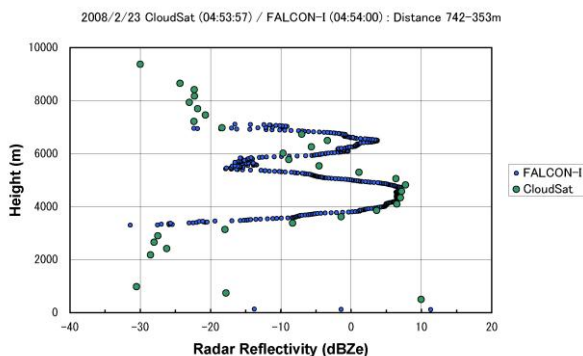


図 4. FALCON-I (青い小さい○)と CloudSAT (緑の大きい○) のレーダ反射因子の比較結果。縦軸は高度で 0-10 km、横軸はレーダ反射因子 dBZ で  $+7 \sim -30$  の範囲に分布している。両者とも、4-5 km の下層の雲と 6 km 付近の上層の雲を検出している。下層雲は両者がよく一致しているが、上層雲は強度に相違がみられる。

- ⑤ 地上での FALCON-I の観測では、晴天時に大気浮遊物が多数捉えられ、これらは飛翔する昆虫や植物の種子であることがわかっている。しかし、船舶搭載観測で洋上での観測結果からは、同様の大気浮遊物は全く観測されないことがわかった。これは、洋上には昆虫などの飛翔がないことを意味している。

(3) 走査型レーダの開発

走査型レーダでは、走査範囲を広くするとデータの時間分解能が悪くなったりデータ量が膨大になったりするデメリットも併せ持つことになる。従って、我々の目的である、雲の構造・分布を解明し、他の観測機器との比較解析に適したデータ取得をするために、必要な走査範囲や掃引時間間隔などを調査し、試験観測を行って設計を詰めることが必要である。本研究期間これを実施した結果、掃引範囲は天頂から  $\pm 5 \sim 10^\circ$  に抑え、データサンプリング速度をこれまでより上げる必要があることなどがわかった。またこれと並行して、受信機感度を高めることで、効率の良い観測が可能ないように改良を行った。

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 19 件)

- ① Growing Speed of Cumulonimbus Turrets; F.Kobayashi, A.Katsura, Y.Saito, A.Katsura, Y.Saito, T.Takamura, T.Takano, D.Abe, Journal of Atmospheric Electricity, Vol.32, No.1, pp.13-23, 2012. 査読有
- ② Isolated Cumulonimbus Initiation Observed by 95-GHz FM-CW Radar, X-band Radar, and Photo-grammetry in the Kanto Region, Japan; F.Kobayashi, T.Takano, T.Takamura, SOLA (Scientific Online Letter on the Atmosphere), Vol.7, pp.125-128, 2011. 査読有
- ③ The Recent State of the Climate: Driving Components of Cloud Type Variability; J.R.Dim, H.Murakami, T.Y.Nakajima, B.Nordell, A.K. Heidinger, T.Takamura; Journal of Geophysical Research, Vol.116, D11117, DOI : 10.1010JD014559, 2011. 査読有
- ④ Estimation of Solar Radiation Using a Neural Network Based on Radiative

- Transfer; H.Takenaka, T.Y.Nakajima, A.Higurashi, A.Higuchi, T.Takamura, R.T.Pinker, T.Nakajima; *Journal of Geophysical Research*, Vol.116, D08215, DOI: 10.1029/2009JD013337, 2011. 査読有
- ⑤ J.Suzuki, M.Fujiwara, A.Hamada, Y.Inai, J.Yamaguchi, R.Shirooka, F.Hasebe, T.Takano, "Cloud-Top Height Variability Associated with Equatorial Kelvin Waves in the Tropical Tropopause Layer during the Mirai Indian Ocean Cruise for the Study of the MJO-Convection Onset (MISMO) Campaign, SOLA(Scientific Online Letter on the Atmosphere), Vol.6, pp.097-100, 2010. 査読有
- ⑥ Khatri,P., T.Takamura, A.Shimizu, and N.Sugimoto, "Spectral dependency of aerosol absorption over the East China Sea region", SOLA(Scientific Online Letter on the Atmosphere), VOL.6, pp.1-4, 2010. 査読有
- ⑦ 山口潤, 鷹野敏明, 高村民雄, 中西裕治, 河村洋平, 阿部英二, 堀江宏昭, 大野裕一, 「2 アンテナ方式 95 GHz ミリ波雲レーダ FALCON-I における視差測定」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J92-C, No.12, pp.806-812, 2009. 査読有
- ⑧ G.Pandithurai, T.Takamura, J.Yamaguchi, K.Miyagi, T.Takano, Y.Ishizaka, S.Dipu, and A.Shimizu, "Aerosol effect on cloud droplet size as monitored from surface-based remote sensing over East China Sea region", *Geophysical Research Lett.*, VOL.36, L13805, 2009. 査読有
- ⑨ 阿部英二, 山崎文寛, 山口潤, 河村洋平, 中西裕治, 鷹野敏明, 高村民雄, 大野裕一, 「ミリ波雲レーダ FALCON-I でのドップラ観測」, 電気学会論文誌 A(IEEJ Trans.), FM, Vol.129, No.4, pp.177-182, 2009. 査読有
- ⑩ 山口潤, 鷹野敏明, 中西裕治, 阿部英二, 河村洋平, 横手慎一, 熊谷博, 大野裕一, 堀江宏昭 「FMCW ミリ波雲レーダ FALCON-I のレーダ反射因子の評価」, 電気学会論文誌 A(IEEJ Trans.), FM, Vol.129, No.4, pp.183-189, 2009. 査読有
- ⑪ Panicker,A.S., G.Pandithurai, T.Takamura, R.T. Pinkeri, "Aerosol effect in the UV-B spectral region over Pune, an urban site in India", *Geophysical Research Lett.*, VOL.36, L10802, 2009. 査読有
- ⑫ 鷹野敏明, 山口潤, 阿部英二, 二葉健一, 横手慎一, 河村洋平, 高村民雄, 熊谷博, 大野裕一, 中西裕治, 中島映至, 「高感度 95 GHz ミリ波雲レーダの開発とその性質- 感度と空間分解能」, 電気学会論文誌 A(IEEJ Trans.), FM, Vol.128, No.4, pp.257-262, 2008. 査読有
- [学会発表] (計 73 件)
- ① 大気浮遊昆虫の捕獲による FALCON-I データの検証, 松本雄太, 橋詰貴裕, 西野大智, 河村洋平, 鷹野敏明, 大塚彰, 日本大気電気学会 第 86 回研究発表会 No.28, 2012 年 1 月 5 日, 東京都
- ② 雲レーダ FALCON-I の非降水エコーに対する検出性能の評価, 西野大智, 鷹野敏明, 日本大気電気学会 第 86 回研究発表会 No.29, 2012 年 1 月 5 日, 東京都
- ③ 95GHz 雲レーダーと X バンドレーダーを用いた積乱雲発生の同時観測, 小林文明, 鷹野敏明, 高村民雄, 日本気象学会 2011 年度 A403, 2011 年 5 月 21 日, 東京都
- ④ 千葉大雲レーダ FALCON-I による積乱雲の高分解能ドップラ観測, 鷹野敏明, 小林文明, 高村民雄, 日本気象学会 2011 年度 A409, 2011 年 5 月 21 日, 東京都
- ⑤ 雲レーダによる雲・水蒸気の計測と衛星検証, 鷹野敏明, 高村民雄, 日本気象学会 2011 年度春季大会 B159, 2011 年 5 月 18 日, 東京都
- ⑥ Takamura, Tamio, P. Khatri, and Y. Kondoh, 2011: AOT and SSA derivation by a shadowband spectral pyranometer at SKYNET site, International Symposium on Radiative Effect of Atmospheric Brown Clouds, Jan. 12-16, 2011, Jinghong Yunnan, China.
- ⑦ FMCW ミリ波雲レーダ FALCON-I の受信特性の解析, 西野大智, 鷹野敏明, 日本大気電気学会 第 84 回研究発表会 No.20, 2011 年 1 月 6 日, 神奈川県
- ⑧ FMCW 雲レーダ FALCON-I で捉えた非降水エコーの分布解析, 守屋秀祐, 西野大智, 鷹野敏明, 日本大気電気学会 第 84 回研究発表会 No.21, 2011 年 1 月 6 日, 神奈川県
- ⑨ 高分解能ミリ波雲レーダ FALCON-I で見た積乱雲の内部運動, 鷹野敏明, 高村民雄, 小林文明, 日本大気電気学会 第 84 回研究発表会 No.22, 2011 年 1 月 6 日, 神奈川県
- ⑩ FMCW CPR FALCON-I による低層雲の雲物理量評価, 山口潤, 鷹野敏明, 高村民雄, 日本大気電気学会 第 84 回研究発表会 No.25, 2011 年 1 月 6 日, 神奈川県
- ⑪ Evaluation of Effective Radius Retrieved by FMCW CPR Falcon-I from Hedo Observation in 2008, Jun Yamaguchi, Toshiaki Takano, Tamio Takamura, 2010 Asia-Pacific Micro-wave Conference 2010. Dec. 7, Yokohama, Japan.
- ⑫ TAKANO, T., YAMAGUCHI J., ABE H., SUZUKI Y., MORIYA S., NISHINO D., KAWAMURA Y., NAKANISHI Y., and TAKAMURA T., 2010: High Resolution Doppler Observations of Clouds with the Millimeter-wave CPR FALCON-I, Proceedings of the 16th CERES International

Symposium on Climate Change Studies through Activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics, p13-16, Oct. 21-23, 2010, Okinawa, Japan.

- ⑬ 地上観測雲レーダ FALCON-I と衛星搭載雲レーダ CludSAT の雲鉛直プロファイル比較, 山口潤, 鷹野敏明, 高村民雄, 日本大気電気学会 第 83 回研究発表会 No.28, 2010 年 7 月 16 日, 岐阜市
- ⑭ 高村民雄, 中島映至, 2010: 東アジアに於けるエアロゾル・雲・放射の SKYNET 観測, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, MGI016-02、幕張メッセ国際会議場、2010 年 5 月 27 日 (招待講演)
- ⑮ 高村民雄, 2010: SKYNET 雲・エアロゾル観測ネットワークと衛星計測検証、第 5 回地球観測衛星研究連絡会、国立オリンピック記念青少年総合センター、2010 年 5 月 25 日
- ⑯ Observation of Clouds on Various Oceans with the Cloud Profiling Radar: FALCON-I, Toshiaki Takano, Jun Yamaguchi, Hideji Abe, Youhei Kawamura, Tamio Takamura, SPIE Europe, Remoto Sensing 2009. August, 2, Berlin, Germany, 7475-07.
- ⑰ 「みらい」における FMCW ミリ波雲レーダ FALCON-I で見る雲の統計, 山口潤, 鷹野敏明, 河村洋平, 阿部英二, 高村民雄, 中西裕治, 山崎文寛, 鈴木陽平, 渡辺潤一, G.Pandithurai, 杉本伸夫, 清水厚, 岡本創, ブルーアースシンポジウム '09, BE09-P129, March 13, 2009, 東京都
- ⑱ Evaluations of Cloud Observation with MMCR FALCON-I from Hedo Campaign 2008, J.Yamaguchi, Toshiaki Takano, Y.Kawamura, Hideji Abe, Tamio Takamura, CEReS International Symposium and SKYNET Workshop on RemoteSensing of the Atmosphere for Better Understanding of Climate Change, No,23, Dec.14, 2008, Chiba, Japan.
- ⑲ 95 GHz ミリ波 FMCW 雲レーダを用いた辺戸観測における雲領域評価, 山口潤, 鷹野敏明, 河村洋平, 阿部英二, 高村民雄, G.Pandithurai, 清水厚、中島映至、日本大気電気学会 第 80 回研究発表会 No.46, 2009 年 1 月 9 日, 東京都
- ⑳ FMCW ミリ波雲レーダ FALCON-I によるドップラ観測, 山崎文寛, 阿部英二, 山口潤, 鈴木陽平, 河村洋平, 中田裕之, 鷹野敏明, 島倉信, 大野裕一、日本大気電気学会 第 80 回研究発表会 No.47, 2009 年 1 月 9 日, 東京都

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

① 名称: FM-CW レーダ装置、ドップラ速度測定方法

発明者: 鷹野敏明

権利者: 千葉大学

種類: 特許出願

番号: 特願 2009-168208

出願年月日: 2009 年 7 月 16 日

国内外の別: 国内

② 名称: FM-CW レーダ装置、ドップラ速度測定方法

発明者: 鷹野敏明

権利者: 千葉大学

種類: 特許出願 (PCT 出願)

番号: PCT/JP2010/61970

出願年月日: 2010 年 7 月 15 日

国内外の別: 国外

[その他]

ホームページ:

<http://katla.nd.chiba-u.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鷹野敏明 (TAKANO TOSHIAKI)

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 40183058

(2) 研究分担者

高村民雄 (TAKAMURA TAMIO)

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・教授

研究者番号: 40272356

研究者番号: 40272356

(3) 連携研究者

なし