

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6501112号
(P6501112)

(45) 発行日 平成31年4月17日(2019.4.17)

(24) 登録日 平成31年3月29日(2019.3.29)

(51) Int.Cl.

F 1

G 01 W 1/08

(2006.01)

G 01 W 1/08

H

G 01 N 15/02

(2006.01)

G 01 N 15/02

B

G 03 B 15/05

(2006.01)

G 03 B 15/05

請求項の数 2 (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願2015-61820 (P2015-61820)

(22) 出願日

平成27年3月25日 (2015.3.25)

(65) 公開番号

特開2016-180714 (P2016-180714A)

(43) 公開日

平成28年10月13日 (2016.10.13)

審査請求日

平成30年2月5日 (2018.2.5)

特許法第30条第2項適用 発行者名：国立極地研究所
 刊行物名：第5回極域科学シンポジウム 講演予稿集
 発行年月日：平成26年12月2日

(73) 特許権者 304023994

国立大学法人山梨大学

山梨県甲府市武田四丁目4番37号

(72) 発明者 小林 拓

山梨県甲府市武田四丁目4番37号 国立
 大学法人山梨大学内

審査官 伊藤 昭治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】雲粒子観測用顕微鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

画像撮影装置と、対物レンズを備えた顕微鏡筒と、パルス光を発光する発光装置と、パルス光の発光間隔を制御する制御装置と、パルス光の発光に合わせ画像を撮影する制御装置を備えた雲粒子観測用顕微鏡であって、

連続した2枚の画像から差分の絶対値を取った差分画像を作成し、

作成された前記差分画像内の最大値を検出し、

前記最大値が設定した第1のしきい値を超えていた場合、前記差分画像を記録装置に保存し、

保存された前記差分画像から抽出した個別の粒子画像を2つの設定した第2のしきい値でそれぞれ二値化し、その面積の変動が一定値以下の粒子画像を雲粒子として検出する雲粒子顕微鏡。

【請求項2】

画像撮影装置と、対物レンズを備えた顕微鏡筒と、パルス光を発光する発光装置と、パルス光の発光間隔を制御する制御装置と、パルス光の発光に合わせ画像を撮影する制御装置を備えた雲粒子顕微鏡を用いて、

連続した2枚の画像から差分の絶対値を取った差分画像を作成し、

作成された前記差分画像内の最大値を検出し、

前記最大値が設定した第1のしきい値を超えていた場合、前記差分画像を記録装置に保存し、

10

20

保存された前記差分画像から抽出した個別の粒子画像を2つの設定した第2のしきい値でそれぞれ二値化し、その面積の変動が一定値以下の粒子画像を雲粒子として検出する雲粒子の観測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、雲粒子観測用の顕微鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

雲は液体の水滴から構成される水雲（みずぐも）と固体の氷晶（氷粒子）から構成される氷雲（こおりぐも）に分けられる。特に極域ではこれらが混合した混合層雲の存在が指摘されており、その動態に関する知見が求められている。 10

【0003】

雲粒子の測定は、雲粒子ゾンデまたは雲粒子顕微鏡（以下、Cloud Particle Microscope、CPM）と呼ばれるものがある。前者は例えば非特許文献1に示すような雲粒子ゾンデが気球に吊り下げられて上昇するとき、大気中の雲粒子・降水粒子が粒子捕捉用の透明なフィルムに捕捉される。フィルムを駆動、静止させ、TVカメラで撮影し、記録し、解析する。後者は、雲粒子の相状態（水/氷）を観測するための装置として、雲粒子を装置内へ吸引し、ガラス板上などに捕集されることなく、大気中に浮遊した状態のまま観測する。このような測定器は、すでに航空機観測用の機器として使用されているが、対象としている粒子は数十 μm 以上の成長した氷晶である。例えば航空機観測用として、DMT社の雲粒子プローブCAPS(Cloud、Aerosol and Precipitation Spectrometer)は、雲粒子の粒径分布が測定できる。CAPSは粒子の前方散乱強度を測定する1次元プローブCAS (Cloud and Aerosol Spectrometer)と粒子の影をアレーセンサで測定する2次元プローブCIP(Cloud Imaging Probe)で構成される。しかし、CASは前方散乱強度で粒径分別を行うため水/氷の粒形判別はできない。 20

本装置による観測は、雲粒子を直接、画像として撮影することにより、雲粒子の相状態を把握し、混合相雲の動態を明らかにすることを目的としている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

30

【0004】

【非特許文献1】水野量、松尾敏世、村上正隆、山田芳則、天気 No.38、Vol.1、1991

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記課題を鑑み、本発明は、水/氷の粒形判別を可能とし、成長する前の氷晶、およそ10~数10 μm 程度の雲粒子の粒子径観察が可能な雲粒子顕微鏡を提供する。 40

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、画像撮影装置と、対物レンズを備えた顕微鏡筒と、パルス光を発光する発光装置と、パルス光の発光間隔を制御する制御装置と、パルス光の発光に合わせ画像を撮影する制御装置を備え、対物レンズ面の直近に浮遊する雲粒子を撮影する雲粒子観測用顕微鏡である。 40

【0007】

また本発明は画像撮影装置と、対物レンズを備えた顕微鏡筒と、パルス光を発光する発光装置と、パルス光の発光間隔を制御する制御装置と、パルス光の発光に合わせ画像を撮影する制御装置を備えた雲粒子観測用顕微鏡を用いて、連続した2枚の画像の差分を取ることによりバックグラウンドレベルを減少させ、雲粒子を観測することができる。

【発明の効果】

【0008】

50

本発明の雲粒子顕微鏡により、雲粒子の相状態を把握し、水／氷の粒形判別を可能とし、成長する前の氷晶、およそ10～数10 μm 程度の雲粒子の粒子径観察が可能であった。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】非接触型雲粒子顕微鏡の概要図を示す

【図2】撮影深度推定実験で得られた粒子像。左から右方向に向かって対物レンズから粒子を10 μm ずつ遠ざけて撮影した。

【図3】気球に取り付けた非接触型雲粒子顕微鏡の外観図を示す。

【図4】雲粒子の粒径分布測定結果の実施例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0010】

測定原理

図1に本発明のCPMの概要図を示す。ハーフミラーを備え、落射照明が可能な工業用顕微鏡の照射光導入部へフラッシュランプのパルス光を照射する。導入されたパルス光は対物レンズを通して、装置下部に設けた観測窓より外部へ照射される。雲粒子によりパルス光は反射し、再び対物レンズを通して顕微鏡に入射する。顕微鏡に取付けられたCCDカメラにより観察像を撮影し、PCに取り込む。連続した2枚の画像の差分を取ることによりバックグランドレベルを減少させ、S/N比を向上させる。照射光を連続光ではなく、パルス光にすることにより、動いている雲粒子をブレること無く撮影する。そのため、パルス光の発光時間は、想定される雲粒子の移動速度に対して、十分に高速でなければならない。

キセノンフラッシュランプを用いることで、発光時間1 μs 以下で十分な強度のパルス光を得ることができる。顕微鏡の被写界深度外の像も取り込まれてしまうため（いわゆるピンぼけ）、得られた雲粒子の像を画像処理することでピンぼけを判定する。顕微鏡の被写界深度は理論値が示されているが、実際には理論値より広い範囲で実用的な像が得られる。

そこでピントが合う範囲（撮影深度）を実験的に決定し、観測対象体積（サンプリングボリューム）を推定した。

【0011】

装置仕様、撮影条件

顕微鏡：ニコン CM-10L

CCDカメラ：Sentech

STC-MC202USB(1628 x 1236pixels)

フラッシュランプ：浜松フォトニクス L12336

PC：Compulab

Fit-PC2

汎用I/O：コンテック A10-160802AY-USB

電源：パナソニックニッケル水素電池 エネループ（ハイエンドモデル）

制御ソフトウェア：National Instruments LabVIEW

フラッシュランプ 64Hz

CCDシャッタースピード 1/16s、フレームレート 10fps

消費電流 1.4A（エネループ10本、2350mAh）

【0012】

測定

係留気球（浮力5～10kg程度）と地上のワインチとは専用ロープにて結ばれている。係留気球から数m下のロープに気象ゾンデを取付け、更に数m下にCPMを取付けた。気象ゾンデのデータはリアルタイムに地上で監視することができ、気圧高度と相対湿度から雲の構造を推定することができる。CPMの単位時間あたりのサンプリングボリュームと雲粒子の濃度の兼ね合いから、ある高度での測定は30分から1時間程度実施した。

【0013】

データ解析

解析はCPM内での処理とCPMからデータを回収した後の処理と2つの工程を経て実施した

10

20

30

40

50

。

【0014】

(1) CPM内の処理

連続した2枚の画像から差分の絶対値を取った画像を作成する。

画像内の最大値を検出し、設定したしきい値を超えていた場合、画像を制御PC内部の記録装置に保存する。

設定した時間（今回は1分間）に測定した回数をカウントし、記録する。この値は粒子濃度を算出する際に使用する。

電源内の電池の電圧をチェックし、設定した値以下に低下した場合、PCを保護するため、自動的に測定を終了し、PCをシャットダウンさせる。

10

【0015】

(2) データ回収後の処理

画像の一部を抽出し、輝度値のヒストグラムからバックグランドレベルを決定する。

決定したバックグランドレベルを画像から引き算する。

設定したしきい値で二値化を行う。

基本的な画像処理（平滑化等）を行った後、粒子の検出（粒子の画像内での位置）を実施する。

検出した粒子の画像（二値化前）を個別に切り抜き、それぞれ別ファイルとして保存する。

個別粒子の画像の抽出が終わった後、次の処理工程（別プログラム）に移る。

20

ピンぼけ画像を除去するため、2つの設定したしきい値で二値化し、その面積の変動を算出する。ピンぼけの場合、粒子の縁付近の輝度変化がゆるやかであり、面積の変動が大きくなる。よって面積の変動が一定値以下の画像のみ、次の処理に進む。

二値化した画像から粒子の検出を行い、円相当径、長径、短径等の粒子の形状に関するパラメータを取得する。

これらをテキストファイルに保存する。

【0016】

撮影深度推定実験

標準粒子（粒径20 μm 、ガラスビーズ製）を楊枝の先に付着させ、マイクロメータを取付けたステージに装着し、高さを10 μm ずつ変えながら、顕微鏡で撮影した。撮影した画像を図2に示す。これより撮影深度を40 μm とし、サンプリングボリュームを決定した。

30

Sampling volume $0.700\text{mm} \times 0.525\text{mm} \times 0.04\text{mm} \times 10\text{fps} \times 4 = 0.588 \text{ mm}^3/\text{s}$

【実施例】

【0017】

北極スピツベルゲン島ニーオルスンにて、雲の微物理特性を直接的に測定するため、図3に示すような雲粒子顕微鏡（Cloud ParticleMicroscope、CPM）ゾンデを用い、係留気球により雲内観測を実施した。

【0018】

ゾンデは、雲粒子を浮遊した状態でそのまま撮影できるようにガラス製の観察窓付きケース内に光学系を設置し、観察窓外の雲粒子を撮影する。雲粒子の撮影には、倍率10倍の対物レンズを取り付けた顕微鏡（ニコン、CM-10L）を通してCCDカメラ（Sentech STC-MC202USB）を用いた。光源として、キセノンフラッシュランプ（浜松フォトニクス、L123-36）を用い、顕微鏡に設けられた専用の入射口に設置することで同軸落射により照射した。顕微鏡は対物レンズが下になるように設置し、観察窓を通して撮影した。

40

ゾンデの下部（ケース外）は開放空間になっており、特にポンプなどを使用せず、空間に浮かんだ状態の雲粒子をそのまま観察した。フラッシュランプの点灯時間（半値幅）は0.3 μs 、点灯周期は64Hz、CCDカメラの露出時間は、1/16 sとし、多重露光とすることでサンプリングボリュームを向上させた。CCDカメラの画素数は1628 \times 1236 ピクセルである。バックグランドノイズを低減させるため、連続した2枚の画像の絶対差を算出した結果をゾンデ内の小型PCに保存し、地上で回収した後、画像処理を行った。標準粒子（d = 2

50

0 μm)を距離を変えながら撮影し、ピントが合う範囲を決定し、サンプリングボリュームを決定した。今回の設定では0.588mm³/sとなつた。

【0019】

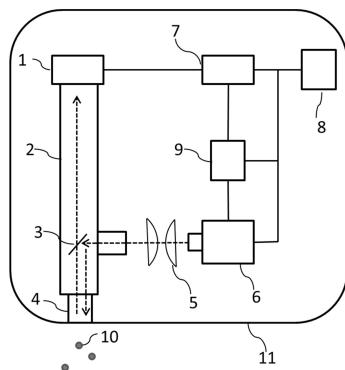
観測は、平成26年6~7月に、係留気球により高度1000m前後の雲内部にCPMを保持し、観測を実施した。一回の観測時間は内部バッテリーの制約から2時間とした。条件がよいときは、雲下層と雲上層といった複数の高度で測定を実施した。観測結果の一例を図4に示す。最も小さいもので3 μm程度の雲粒子の観測が可能であった。

【符号の説明】

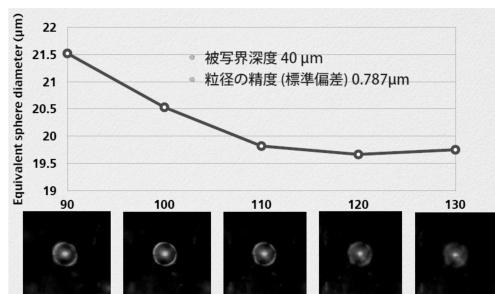
【0020】

1 撮像装置 (CCDカメラ)	10
2 顕微鏡筒	
3 ハーフミラー	
4 対物レンズ	
5 レンズ (非球面)	
6 発光装置 (フラッシュランプ)	
7 制御用PC	
8 電源	
9 I/O	
10 対象物 (雲粒子)	20
11 観察窓付きケース	
12 気球	

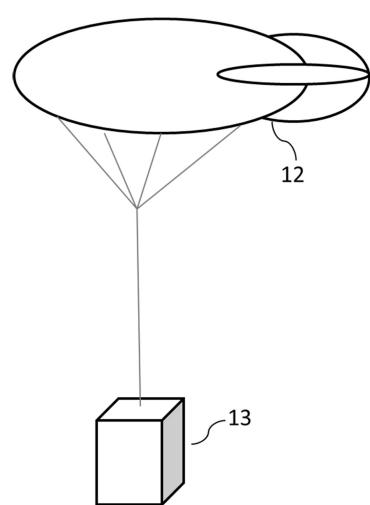
【図1】



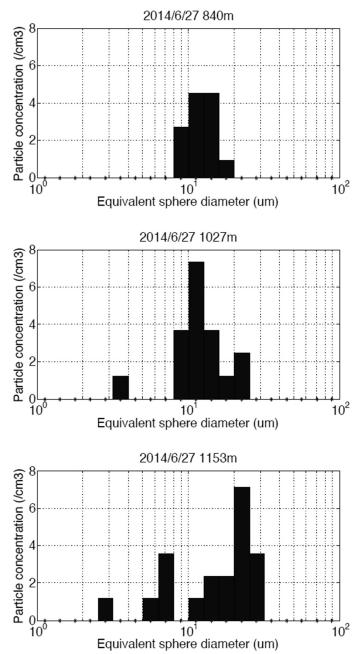
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2014-219264(JP,A)
特開2011-002257(JP,A)
特開平06-082703(JP,A)
特開昭60-038653(JP,A)
特開平11-211987(JP,A)
特開2009-023379(JP,A)
特表2001-500247(JP,A)
特表2008-524696(JP,A)
特開2015-019706(JP,A)
小林 拓 ほか, 雲粒子顕微鏡ゾンデの開発, 「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」 - GREEN 北極気候変動研究事業研究成果報告 2013, 2013年11月
12日

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01W 1/08
G01N 15/02
G03B 15/05