

長大立坑内での雲物理観測のための吊り下げ装置

山下 和也、藤原 忠誠、藤吉 康志（雲科学）、下山 宏（雪氷環境）
池田 正幸、新堀 邦夫（技術部）

1. はじめに

雲底付近の過飽和層では、凝結は過飽和状態から急激に起こっており、その潜熱放出によって気温減率が減少する。これまでの研究では、立坑観測で得られた鉛直温度プロファイルから雲底付近に存在すると思われる過飽和層の検出に成功し、上空の湿潤断熱減率線と下層の乾燥断熱減率線が交差し両者の気温差が最大となる高度に最大達成過飽和度が存在することを示した。しかし、このとき使用された鉛直温度プロファイルは高度 10 m 毎に設置した温度計から得られたものであり、厚さ 40 m 程度の過飽和層の高度や厚さを測定するには、鉛直プロファイルの分解能を上げる必要があった。

そこで 1 台の熱電対を上下させることによって立坑内の鉛直温度プロファイルを得ることができる装置を開発し、2007 年の雲物理観測に用いた。本装置により、これまで懸案であった測器間の較正を考える必要がなくなり、また熱電対の測定分解能が高いため、より詳しく過飽和層の検出が可能となった。また、過飽和層付近の雲凝結過程を詳細に調べるため、温度計と同時に、CN（凝縮核、Condensational Nucleus）カウンタ及び OPC（光散乱式粒子数濃度計数機、Optical Particle Counter）を用いた観測も行った。

2. 観測装置

観測は、岩手県・釜石鉱山日峰坑中央立坑で行った。立坑内部の概略図及び基本データを図 1 及び表 1 に示す。観測項目は、熱電対（2 本）及びサーミスタによる温度観測、CN カウンタ及び OPC による雲凝結核数及び雲粒数の観測、ビデオカメラによる雲粒観測、風速計による鉛直速度観測である。これら観測装置を箱にまとめ、それを係留気球用のウィンチで坑頂から吊り下げ、上下させて温度・雲粒数等の鉛直プロファイルを得た。

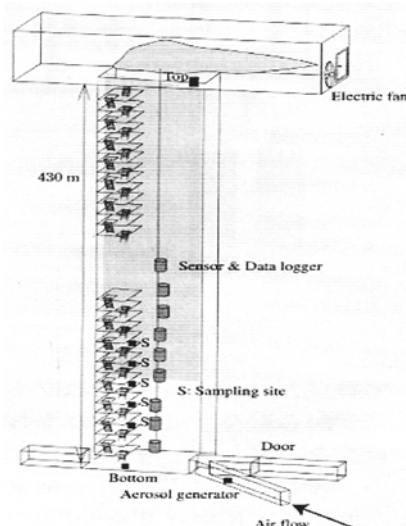


図 1 雲物理実験立坑の概略

表 1 立坑の基本データ

坑内平均断面	3.05 × 5.71 m ²
観測可能高度	432.5 m
坑底標高	250 m
坑長標高	680 m

使用した観測装置を図 2、表 2 に示す。ビデオカメラ撮影の為に、ビデオカメラとライトを固定するケースを作成した（図 3）。これら装置を入れる観測箱は、防水でかつ丈夫と思われるクーラーボックスを改造して用いた。

表 2 使用した観測装置

熱電対(自作)	T 型(銅コンスタantan)熱電対
サーミスタ	石塚電子株式会社 104ET-1
CN カウンタ	TSI Condensation Particle Counter Model 3007
OPC	リオン パーティクルカウンタ KR12-A
ビデオカメラ	Victor DISITAL VIDEO CAMERA GR-DVP7
風速計	ベーン式風速計 SK-95F
データロガー	キャンベルサイエンティフィック社 CR10X



図2 使用した観測装置



図3 ビデオカメラとライトのケース

図4に観測装置が入った改造したクーラーボックスの外観、図5にクーラーボックス内の観測装置を示す。行った改造は、以下の通りである：

吊り下げ中に立坑側面に衝突した場合を考え、突っ張り棒を出している。2つの熱電対とサーミスタ、計3つの温度計を突き出すパイプを通した。クーラーボックス側面には、CNカウンタ及びOPC吸引用の穴をあけた。風速計測用に風車部を外に取り付け、ビデオカメラ撮影窓を透明なアクリル板で作った。また揺れや衝撃に耐えられるように内部にクッションを敷き詰めた。観測装置は湿度が非常に高い雲内を移動するため、袋に包んで防水し、さらに乾燥剤をいれた。可能な限り軽量化を図った結果、クーラーボックスの総重量は約7kgとなった。

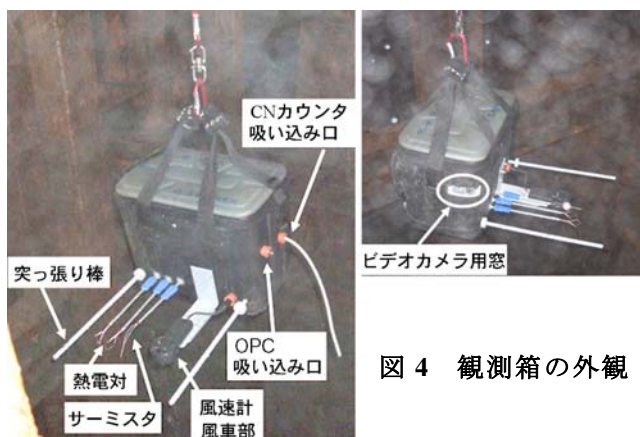


図4 観測箱の外観

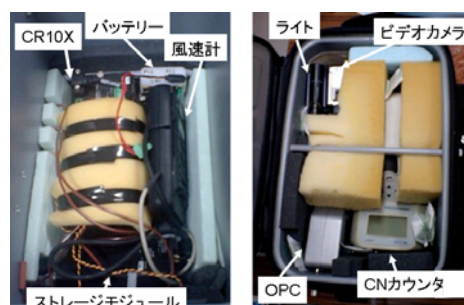


図5 (左) 観測箱内部の下段 (右) 観測箱内部の上段

図6、図7、図8はそれぞれ吊り下げ装置、滑車部、ウィンチである。吊り下げ装置は、現地の地面が平坦ではなく凹凸があるため、ナットで高さが調節できる棚を使用した(図6)。また突き出し部分は、丈夫さを考えて単管(3m)を使用した。滑車を3つ吊り下げ装置につけ、番線で固定した(図7)。また吊り下げ高度が分かるように、吊り下げ糸には10mごとに、吊り下げ高度が坑底から100mの付近では、5mごとに印をつけた。

計5回の吊り下げ・吊り上げが行われ、事故もなく無事に観測データが取得出来た。観測箱が振り子のように振動することはなかったが、かなりの高速で回転したため、ビデオ画像が見えづらくなってしまった。

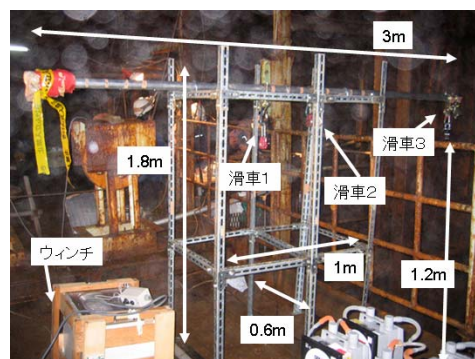


図6 吊り下げ装置概観

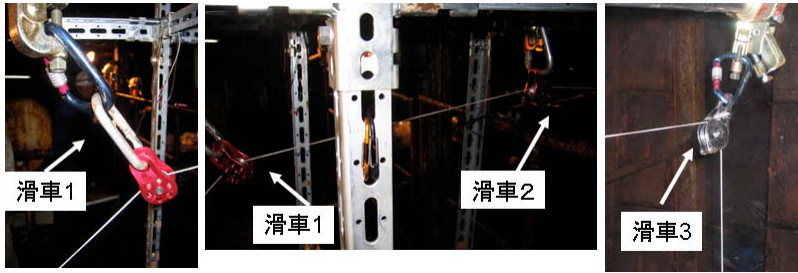


図 7 滑車部

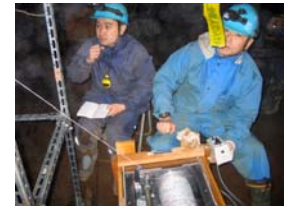


図 8 ウインチ部

3. 観測結果

坑頂に設置された 2 台のファンを稼働させることにより、立坑内の上昇流を調節できる。今回の観測では、ファンなしを 1 回、ファン 1 台を 2 回、ファン 2 台を 2 回の計 5 回の吊り下げ、吊り上げを行った。1 回の下げ上げに要する時間は、約 1 時間半である。上昇流が一番強いファン 2 台（上昇流は、約 1 m/s）の結果を示す。

図 9 は、気温の鉛直プロファイル、図 10 は雲凝縮核（CN）数・雲粒子数の鉛直プロファイルである。高度 15 m から 30 m にかけて、気温減率が減少していた。粒径 2.0-5.0 mm の雲粒に着目すると、高度 15 m から 30 m にかけて急激に粒子数が増加していた（図 10）。粒径 5.0 mm 以上の雲粒は、粒径 2.0-5.0 mm の雲粒に比べやや高い高度（20-40 m）で急激に粒子数が増加していた。また CN 数は、高度 20 m から 40 m にかけて減少していた。以上より、過飽和層付近で凝結が急激におこり、多量の潜熱が放出され、気温減率が減少していたと考えられる。本観測により、詳細な雲凝結過程を観測出来た。

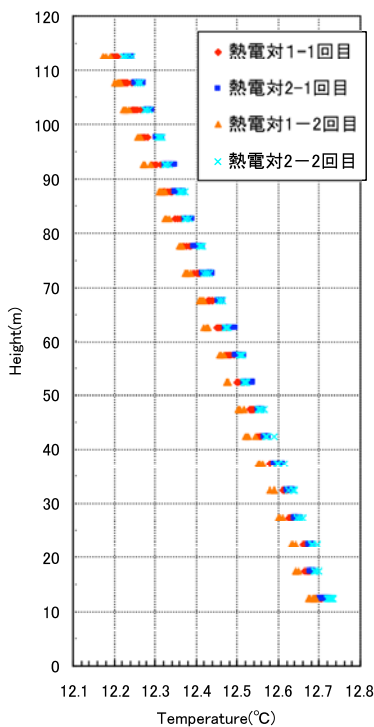


図 9 気温の鉛直プロファイル

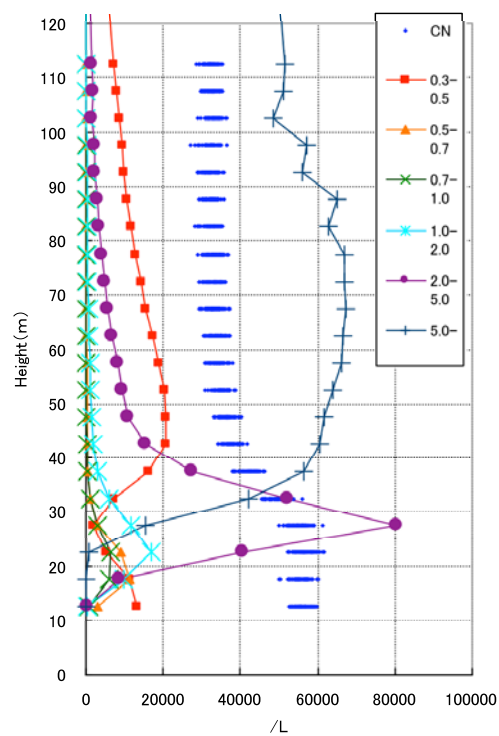


図 10 雲凝縮核（CN）数と雲粒子数の鉛直プロファイル。CN、粒径 0.3-0.5, 0.5-0.7, 0.7-1.0, 1.0-2.0, 2.0-5.0, 5.0-の雲粒についてそれぞれ示した。CN 数の単位は、/0.1L である。