

係留気球搭載型気象センサーの製作

下山 宏¹、藤田 和之²、中坪 俊一²、小野 数也³、中鉢 健太²、新堀 邦夫²

1. 大気陸面相互作用研究グループ
2. 技術部・装置開発室
3. 技術部・先端技術支援室

はじめに

地上から高度 1000–2000 m までの大気境界層内における気象要素の観測方法は非常に限定されている。遠隔観測手法としては、マイクロ波を使用した温度の鉛直構造観測や、電波や音波を用いた風向風速の鉛直構造観測がある。直接観測手法としては、定常的にはラジオゾンデによる観測が気象官署において実施されている。これ以外には航空機を用いた観測、そして係留型の気球にセンサーを付けて観測する方法がある。

係留気球を用いた大気境界層観測では気球に観測装置を取り付け、ある高度まで上昇させた後に係留糸を地上に固定して上空の大気状態を連続観測する、あるいは気球の上昇速度を調整することで大気の鉛直構造を詳細に観測する、など目的にあった観測を設定しやすいことが利点として挙げられる。

大気境界層観測を実施するにあたっての一つの問題点は、これらの観測測器が全般に非常に高価なことである。このため、例えば多地点比較観測などは、測器を複数必要とすることなどからその実施が非常に難しい。そこで本研究では複数地点での同時観測を行うことを目的として、比較的安価な係留気球搭載型の気象センサーを製作した。

センサー概要

係留気球搭載型気象センサーで観測する要素は、気圧・気温・湿度・風速の四要素である。これらを測定する個々のセンサーはすべて市販品の物を用いた（表 1）。測定された値は従来品のように直接電波で転送する方式ではなく、市販の通信機能付き小型データロガーを用いた。これらを風の抵抗が小さくなるような形状に加工された、軽量で断熱性に優れたスタイロフォームに組み込んだ（図 1）。大きさは約 50 cm で重さは約 500 g である。電源は単 3 型を 4 本用いるが、厳冬期の使用や長時間の運用も考慮し 2 組分（合計 8 本）を搭載する事が出来る。動作時間は常温でエネルギーを使用する場合は 8 時間程度である。また、消費電力が若干増加するが、DC-DC コンバーターが内蔵されている。これによって、常に安定電圧が供給されるため、低温時の電圧低下による動作不具合を防ぐことが出来る。

表 1. 係留気球センサーの測定要素と使用センサー

要素	センサータイプ	モデル
気温	サーミスター	HIOKI: 9631-02
相対湿度	静電容量式	VAISALA: HMP45A
風速	三杯式	牧野応用測器: マイクロアネモ
気圧	容量式	OMEGA: PX2760

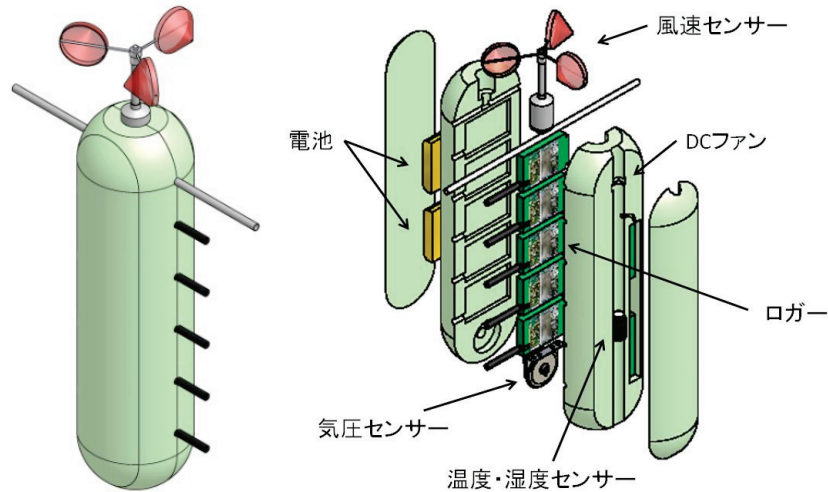


図 1. 係留気球センサーの概観。

観測システム

係留気球観測装置は、係留気球・昇降機（ウインチ）・係留糸・係留気球用センサー・受信機・パソコンから構成される。写真 1 は係留気球観測の様子である。係留気球の大きさは 7 m^3 と 15 m^3 のものを使用した（写真は 15 m^3 のもの）、係留気球センサーの重量は電池込みでも 1 kg 弱であるために、高度 1000 m 程度までであれば 7 m^3 以下の気球でも十分可能である（無論、気球の揚力と気球本体重量、係留糸重量などのバランスによる）。受信機とパソコンはデータの記録時間や開始・終了の設定時に必要であり、設定が完了すれば観測中には無くても良い。これは今回製作した係留気球用センサーにはデータロガーが組み込まれているため、観測データは上空で本体記録メモリーに取り込まれるからである。しかしながら、上空の気球高度で大気がどのような状態であるのか、また、観測実行に支障（主に気球の制御や係留糸切断の危険性）をきたす風速に達していないかなど、リアルタイムでの情報を得ることは非常に重要である。本システムでは、メモリーに記録されたデータを電波によって地上に転送することが可能である。この詳細は次に記す。



写真 1. 係留気球観測の様子。

データ処理とリアルタイム画面表示

データの記録や通信設定は、基本的にはデータロガー付属のソフトウェアを用いて行う。記録データの電圧値から物理量への変換は、一次式であれば設定時に行うことが出来るため、記録値と現場状況との対応が容易である。これらの値は係留気球センサー内のデータロガーに保存されると同時に、定期的にロガーと通信してデータをパソコンに取り込むことが出来る。図 2 は、パソコンに転送された観測値を画面上に表示した例である。Windows 上で Unix コマンドが使用できるアプリケーションソフト **cygwin** を用い、我々が作成した Unix 用表示プログラムを実行させる。パソコン内に保存されたファイルが更新されるたびに、最新の観測値がテキストで画面上に一覧表示される。数値は観測されたデータであり、これらの観測値が約 1 分毎に最新のものに更新される。これによって上空の気象状況をリアルタイムで監視する事が可能となった。

観測結果

図 3 に北海道幌加内町母子里における、係留気球と温度プロファイラーで観測された気温の鉛直構造の結果を示す。温度プロファイラーは、マイクロ波を用いた遠隔観測装置であり、10 分毎に高度 600 m までの気温を 50 m 間隔で観測する事が出来る。両者の観測結果を比較すると、係留気球観測では高度 100 m 以下に安定層が形成されている様子や 400 m 付近までの微細な温度構造が明確に捉えられている。一方、温度プロファイラーでは地表面の安定層や微細な温度構造は不明瞭で、地上付近に安定層が存在する事が確認出来る程度である事がわかる。母子里は周囲を標高差 200-400 m の山で囲まれた盆地地形をしており、夜間に形成される安定層はこれらの地形効果を強く反映する。この影響を明らかにするためには 400 m までの温度の構造を詳細に知ることが重要であるが、温度プロファイラーではその実態を捉える事が出来ず、係留気球では明確に観測することが可能であることが示された。

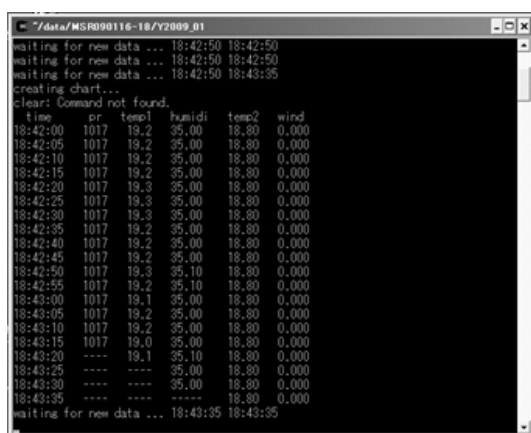


図 2. 観測データのパソコン上におけるリアルタイム表示の例。左から、時刻・気圧・気温 1・相対湿度・気温 2・風速で、20 個のデータを表示する。およそ 1 分毎に自動更新される。

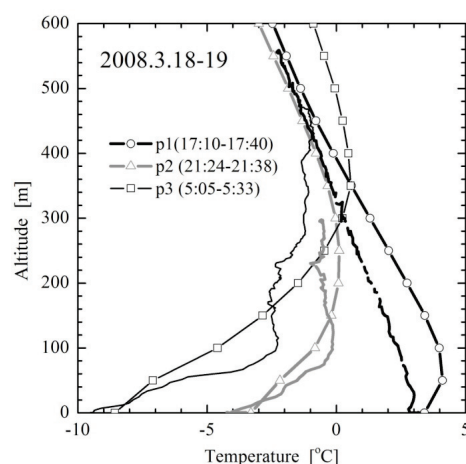


図 3. 係留気球と温度プロファイラーで観測された気温鉛直構造。実線が係留気球の観測値で、プロットを伴うものが温度プロファイラーの観測値。係留気球観測データは連続値であるが、温度プロファイラーは 50 m 毎の値。

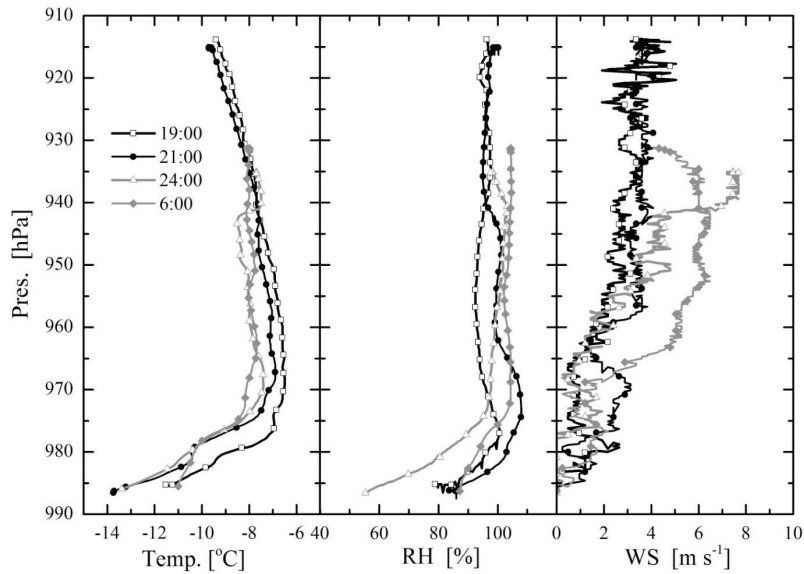


図 4. 係留気球観測で得られた気象要素の鉛直構造時間変化。
左から気温、相対湿度、風速で気圧に対して表示。

図 4 は、製作した係留気球気象センサーで得られた観測値の例である。この結果は大学院実習において実施された時のデータである。気球の上昇速度は約 0.4 m/s で、データの記録間隔は 5 秒である。図に記した値は基本的には生の観測値であるが、結果を見やすくするために 30 秒の移動平均処理を施した。地上付近に形成される強い安定層が 19:00–24:00 にかけて 978 hPa から 968 hPa に変化する様子（約 100 m 上昇）が明確に分かる。また、この層内で相対湿度が地上に向かって徐々に低下していることから、地表面で凝結が生じている様子や安定層が地表面の影響を強く反映している層であることが示唆される。一方、風速は安定層内とその上層まで風速が弱いのに対して、周辺山頂高度を超えて盆地上空に出ると風速が急激に大きくなる様子がわかる。このように盆地特有の大気構造が、本研究における係留気球センサーを用いた観測によって、きちんと捉える事が可能であることが示された。