

RTK-GNSS 搭載バルーンの飛行経路に基づく風速観測の基礎的検討 A preliminary study for wind measurement based on trajectory of RTK-GNSS embedded balloon

○西嶋一欽・大風翼・中嶋唯貴

○Kazuyoshi NISHIJIMA・Tsubasa OKAZE・Tadayoshi NAKASHIMA

This study investigates the possibility of wind field estimation based on the trajectories of flying balloons equipped with RTK-GNSS modules. For this purpose, a prototype of the balloon equipped with RTK-GNSS module is designed. Two sets of the balloon are built, released into the atmosphere, and their trajectories are measured. The estimated wind speeds and directions based on the trajectories show good agreement with the actual wind speed and direction observed with an ultrasonic anemometer settled on top of the nearby building. Further, it is demonstrated that swinging/rotational movement of the balloon can be detected; hence, it is possible to remove their movement effects in order to better estimate the wind speed and direction.

1. はじめに

台風などによる都市内の強風被害の低減には、大気境界層内の風速の3次元構造の把握が重要である。風況観測手法はラジオゾンデ、ドップラライダー、風速計などを用いたものが存在しているが、いずれの手法においても建築物が存在している地表面付近の風速場を3次元高密度で実測することは難しい。本研究では、近年低コスト・高性能が進んでいる RTK-GNSS モジュールをバルーンに搭載し、これらを複数個放球することでバルーンの軌跡から風速場を推定する手法を構築する。

2. RTK-GNSS 搭載バルーン放球実験

RTK-GNSS モジュールを用いてバルーンの軌跡を計測する手順を確立し得られた軌跡に基づく風速計測の可能性を検討するために、RTK-GNSS 搭載バルーンの放球実験を行った。実験は、令和2年12月11日京都大学防災研究所潮岬風力実験所で実施した。図1に放球実験場所ならびに風力実験所に設置されている超音波風速計の位置、本実験のために設置した RTK-GNSS 基準局の位置を示す。RTK-GNSS 搭載バルーン（以下測位バルーン）の概観および諸元をそれぞれ図2および表1に示す。測位バルーンは、ヘリウムガスを充填したバルーン本体の上部に GNSS 信号受信用アンテナを装着し、バルーン本体下部に測位モジュール・計測用マイコン・バッテリーと浮力調節用の重りを装着する（図2は重りを装着していない状態のものである）。また、測位バルーンには係留用の釣り糸を

取り付けているが、バルーンの軌跡を記録する際には一時的に張力を開放し、釣り糸に張力がかからない状態にする。なお、実験前に使用した機材を用いた測位精度（Fix 解）が水平鉛直方向ともに数 cm 程度以下であることを確認している。

放球実験は2組の測位バルーンを用いて合計7回実施した。それぞれの試行において、2個のバルーンを同時に放球した。1回目から3回目までの試行では、釣り糸の巻き出し長さが約10mの状態放球し、巻き出し長さが約20mになるまでの間釣り糸の張力を解放した。4回目から7回目までの試行では、同約20mの状態放球し、同30mになるまでの間張力を解放した。なお、すべての試行において、5-10Hzで測位した。

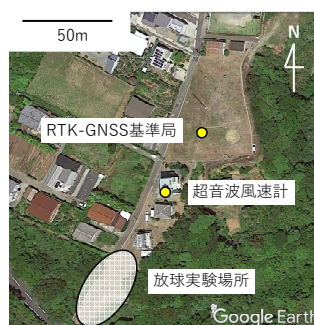


図1 実験場所



図2 測位バルーン概観

表1 測位バルーン諸元

	バルーン1	バルーン2
直径(水平方向)(mm)※1	1350	1255
重量(gf)※2	1665	1128
浮力(gf)	1741	1223
上向きの合力(gf)	76	95

※1 バルーンは球体ではなくやや鉛直方向に伸びた回転楕円体状である。

※2 係留用釣り糸の重さ(約1g/m)は含めていない。

3. 測位情報に基づくバルーン飛行経路

RTK-GNSS モジュールによって測位された、バルーンの飛行経路（正確には、バルーンに搭載されたアンテナの位置の時間的変化）を図3に示す。グラフにおける原点は図1の放球実験場所内に定義した1点である。特に、図中の7-1 および7-2 は7回目の試行におけるバルーン1、2の軌跡である。なお、4回目の放球時のバルーン2に関するデータはデータ保存に失敗し記録されていない。

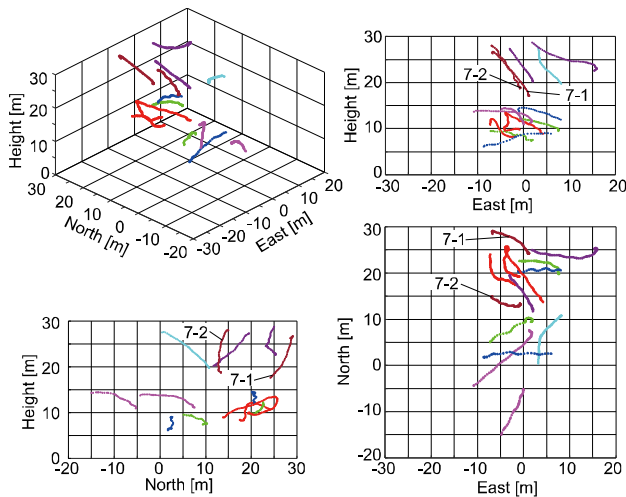


図3 バルーンの飛行経路

次に、これらの飛行経路をもとにバルーンの移動速度を算出した。7回目の放球におけるバルーン1および2の移動速度の水平成分および方向を図4に示す。また、同図には風力実験所本館屋上に設置（地上高さ20m、図1参照）された超音波風速計によって計測された同時刻における風速と風向（180度シフト）も併せて記している。

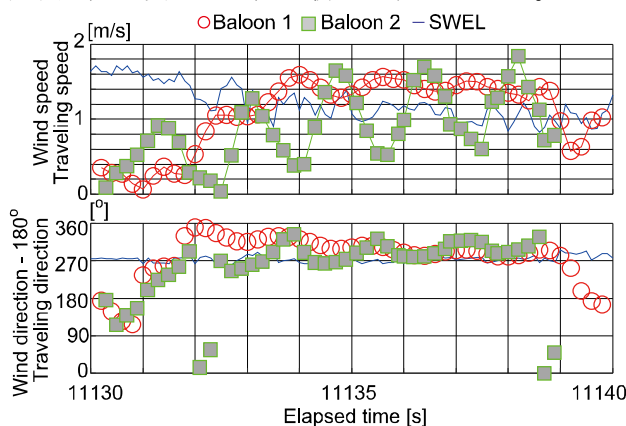


図4 バルーンの水平移動速度

バルーンは釣り糸の張力を解放後加速し、約4秒後（経過時間11134秒）に水平移動速度は安定的な周期変動に落ち着いている（周期的変動の原因考察は後述）。安定した時点での水平移動速度の平均値は概ね超音波風速計で計測された風向風速と一致している。

4. 考察と結論

アンテナ位置の水平移動速度が測位バルーンの重心の並進運動成分と重心に対するアンテナ位置の相対運動成分が重ね合わさったものであるならば、アンテナ位置の相対運動は首振り運動と振り子運動が合わさったような運動であるから、水平2方向の相対変位は近似的に同一周期で、ある位相差を有した挙動を示すと考えられる。その際、鉛直方向の相対変位は水平2方向の相対運動と呼応した挙動を示す。このことを検証するために、バルーンの飛行経路の1秒平均値からの偏差（高さ・南北・東西方向）を計算したものを図5に示す。この図から水平2方向の相対変位について、バルーン1、2ではある位相差、特にバルーン2では経過時間11131.5秒から11135秒の間はほぼ同位相で運動（=ある方向に対する振り子運動）していることがわかる。また、いずれも周期約1.6秒（振り子運動とした場合の測位バルーンの固有周期にほぼ一致）で運動している。他のいずれの試行においても水平運動の周期は約1.6秒である。これらの結果は、アンテナ位置の運動は測位バルーンの重心の並進運動成分と重心に対するアンテナ位置の相対運動成分が重ね合わせであることを支持している。このとき、測位バルーンの重心の水平移動速度は、アンテナ位置の移動速度の1周期ごとの代表値、例えばアンテナが重心に対して相対的に静止しているときの値あるいは近似的に1周期の時間平均値で近似することで、風速の水平成分の推定値とすることが可能である。

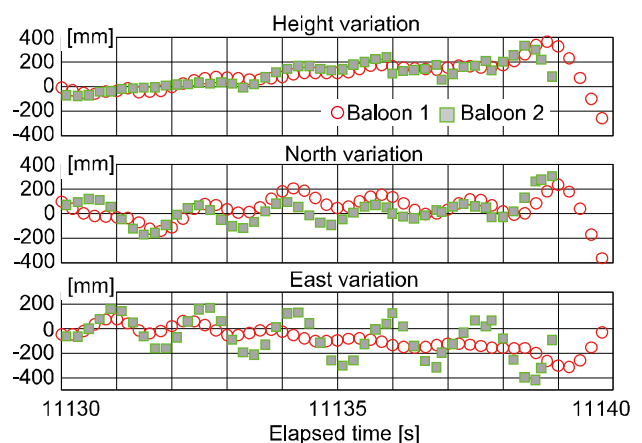


図5 アンテナ位置の水平・鉛直運動

謝辞

本研究は京都大学防災研究所一般共同研究(2020-G05)の成果である。また、同研究所風力実験所における風向風速データは吉田聡氏に提供していただいた。また、大学院生岩崎弘高君にはデータ解析を手伝っていただいた。ここに謝意を表します。