

第 13 回高校・高専観測機器コンテスト

上空風速観測機

「空廊」

実証実験報告書

海城中学高等学校

内田拓人(高校二年)

野中智昭(高校二年)

田島結人(高校二年)

塚原悠一郎(中学三年)

原航平(中学三年)

1. 背景・目的

現在、気象観測機器の発達により、上空の風速を計測するにはパイバル測定やウインドプロファイル、気象衛星などを使用することができるが、パイバル測定はタイミングに合わせてゴム気球を浮上させる必要があり、さらに本体価格だけで30万円程度かかる。ウインドプロファイルは設置式で、日本には今現在33台しかなく、一般人が利用しにくいという欠点もある。

このような資金や時間などの面で制約を取り払うことで、我々が開発した機器ではピンポイントで雲の移動速度や上空の風速を測ることができ、気象衛星の予知できないような局地的かつ急激的な上空の変化を捉えることができる。例えば、甚大な被害をもたらした2024年7月24日の埼玉県内の突風や、ガストフロントなどによる急激な風の流入に付随する降雨などが、今までにない安価かつ簡易な方法で予測することができる。

本研究は、2022年の研究に基づいて制作された機器「空扉」にインスピレーションを得て遂行した。「空扉」では雲の雲底高度を2箇所の観測点から求めていたが、本研究「空廊」では雲の移動速度を3箇所の観測点から求めた。また、計算式も大幅に見直すことで、雲が天球上のどこにあっても計測をできるようにしたうえ、精度を飛躍的に向上させている。

本研究では安価で簡易的な機器で上空の風速を計測する方法を提供することで、これまでは難しかった災害予知の方法などの幅が広がることを目指した。

2. 使用した機材や考え方

本研究を遂行するにあたって、以下の機材と考え方をを用いた。

【使用した機材】

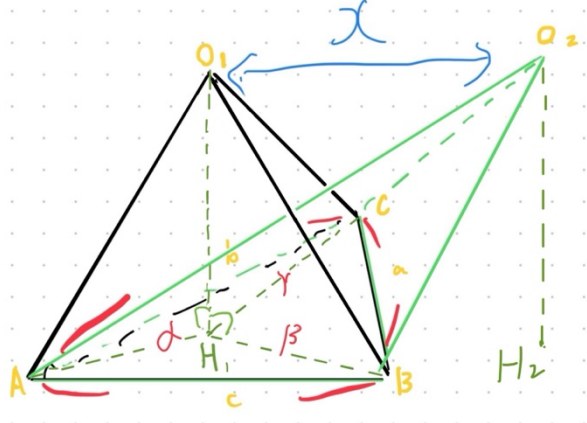
RICOH THETA SC、RICOH THETA S、RICOH THETA V の計3台(360°カメラ)、

球上に十字線を書いたアクリル製透明半球3個

【考え方】

移動前の雲と 3 箇所の観測点

A,B,C を、移動前の雲の底面の中心を頂点とする三角錐 O_1ABC に見立て、移動後の雲と 3 箇所の観測点 A,B,C を、移動前の雲の底面の中心を頂点とする三角錐 O_2ABC に見立てた。また、移動前の雲の底面の中心の点 O_1 と移動後の雲の底面の中心の点 O_2 の間の距離を、 x とし



た。さらに、 O_1 から $\triangle ABC$ の平面に向かって下ろした垂線を O_1H_1 とし、 O_2 から $\triangle ABC$ の平面に向かっておろした垂線を O_1H_2 とする。本研究では、最終的に O_1 と O_2 間の距離 x を求めることを目標とする。

※右図参照

a,b,c はそれぞれ A,B,C の対辺とする

【移動速度を求めるための計算式】

$$S_{HAB} = \frac{1}{2} c^2 * \frac{\sin HAB * \sin ABH}{\sin BHA}$$

$$S_{HBC} = \frac{1}{2} a^2 * \frac{\sin HBC * \sin BCH}{\sin BHC}$$

$$S_{HCA} = \frac{1}{2} b^2 * \frac{\sin HCA * \sin CAH}{\sin CHA}$$

$$x = \frac{1}{S} \sqrt{abc} \sqrt{a \left(\frac{S_{H1BC}}{b} - \frac{S_{H2BC}}{b} \right) \left(\frac{S_{H1CA}}{c} - \frac{S_{H2CA}}{c} \right) + b \left(\frac{S_{H1CA}}{c} - \frac{S_{H2CA}}{c} \right) \left(\frac{S_{H1AB}}{a} - \frac{S_{H2AB}}{a} \right) + c \left(\frac{S_{H1AB}}{a} - \frac{S_{H2AB}}{a} \right) \left(\frac{2S_{H1BC}}{b} - \frac{2S_{H2BC}}{b} \right)}$$

ここで、移動前の雲の写真を撮影した時間と移動後の雲の写真を撮影した時間の間の秒数を t とする。

$$\text{移動速度(m/s)} = \frac{x}{t}$$

※マイクロソフトワードの数式機能を利用して作成

三線座標の二点間距離を導出する式を利用した

S はヘロンの公式より算出できる

$x \geq 0$ より、平方根は正の値を取る

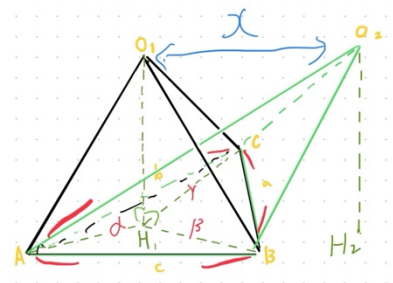
(数式提供:太田宥氏)

3. 研究手法

① 透明半球と 360° カメラを用いて、3 点から 5 分ごとに雲を撮影する。このとき透明半球に書いてある十時線がそれぞれ東西南北を示すように設置する。

② 画像に写った雲のなかから、移動速度を測るものを決定する。

③ 半球にある十字線を用いて、 360° カメラで撮った画像から、雲を平面上に投影した時の点 H を考える。この時、点 H と観測点 A, B, C を結んだ線と観測点 A, B, C のうち 2 点を結んだ線の形成する角度を 6 箇所それぞれ測る。($\angle HAB$ 、 $\angle HCB$ など)



④ 前章の【移動速度求めるための計算式】の計算式にそれぞれの数値を代入する。

⑤目視で、雲の種類を十種雲形から判断し、おおよその雲の高さを求める。
一つ前の④で求めた雲の移動速度と組み合わせることで、上空の特定の高さでの
風速を求めることができる。

4. 実験結果

【観測地点】

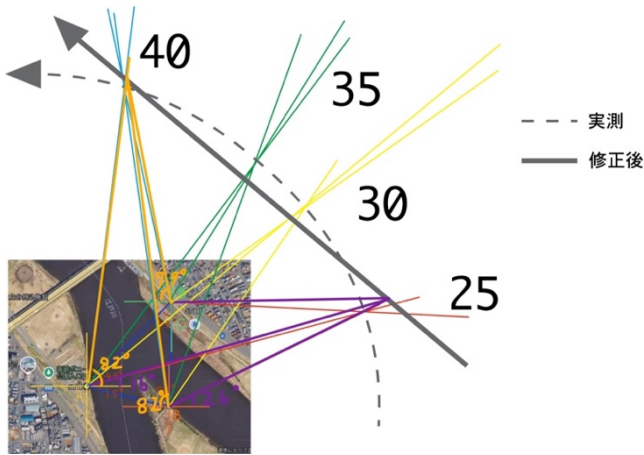
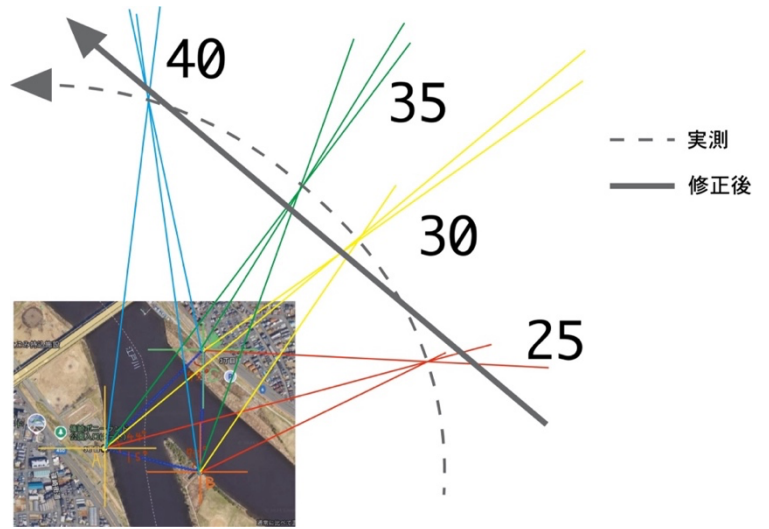
都営新宿線篠崎駅から徒歩約 14 分の地点にある江戸川の河川敷



最も西側の観測所を A、最も南側の観測所を B、最も北側の観測所を C とした。
A 地点から B 地点は約 290m、B 地点から C 地点は約 360m、C 地点から A 地点
は約 420m であった。

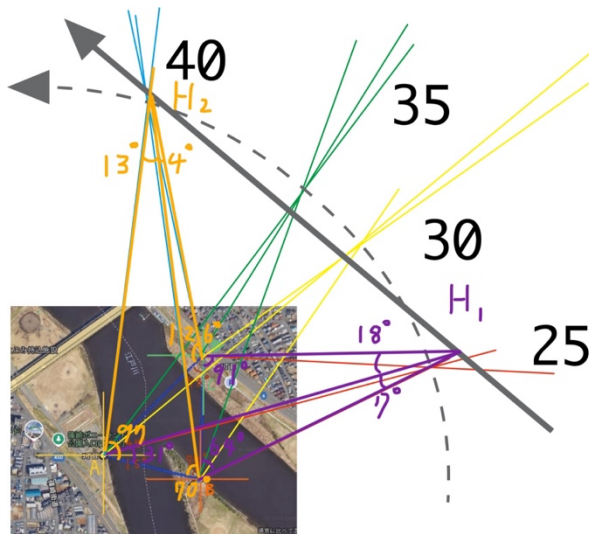
【観測結果】

11 時 25 分から 40 分にかけて、5 分ごとに赤い丸のついている雲の位置を観
測した。すると、以下の図の通りの結果となった。(右下図は 5 分おきの雲の位
置)



それぞれの時間の雲の方角と角度を示す図(上図)から、近似直線を作成し、直線上で25分と40分に最も近い地点をそれぞれ近似的に H_1 、 H_2 とする。すると、 H_1 はA地点の真東から北に 82° 、B地点の真北から西に 82° 、C地点の真北から西に 79° となり、 H_2 はA地点の真東から北に 16° 、B地点の真東から北に 26° 、C地点の真東から北に 1° であった。

※左図参照



点 H と観測点 A,B,C を結んだ線と観測点 A,B,C のうち 2 点を結んだ線の形成する角度をそれぞれ測った。

--- 実測
— 修正後

※具体的なそれぞれの角度は左図参照

ここで、本来ならば前々章の【移動速度求めるための計算式】を使って求めたいのだが、計算過程での桁数が大きすぎて、web 上にある計算機では対応しておらず、エラーになってしまうため、ここではある程度精度は落ちるものの、分度器を使って H_1H_2C と H_2H_1C を測り、上図と正弦定理から雲の移動距離 x を求める。ここで、本来ならば前々章の【移動速度を求めるための計算式】を使って求めたいのだが、桁数があまりにも大きく、web 上にある計算機が対応していないため、ある程度精度は落ちてしまうが、 H_1H_2C と H_2H_1C をそれぞれ分度器で測り、正弦定理で $x(H_1H_2)$ を算出する。

H_1H_2C と H_2H_1C はそれぞれ 39° 、 39° である。

$$x = H_1H_2 = \frac{c * \sin 70^\circ * \sin 60^\circ}{\sin 57^\circ * \sin 13^\circ} = \frac{290 * \sin 70^\circ * \sin 60^\circ}{\sin 57^\circ * \sin 13^\circ}$$

これを解くと x は約 1251m である。

測った秒数は 25 分*60 秒なので、 $t=1500$ である。 x と t を【移動速度求めるための計算式】の移動速度(m/s) = $\frac{x}{t}$ に代入すると、移動速度を求められる。

$$\frac{x}{t} = \frac{1251}{1500} = \mathbf{0.834 \text{ (m/s)}}$$

よって、本研究で観測した雲の移動速度は **0.834 (m/s)** であると考えられる。

また、観測した雲(本章の【観測結果】の最初にある写真の雲)は、十種雲形で言うところの高層雲に当たると考えられる。高層雲は通常上空 2000~7000m に現れる。

ゆえに、今回の測定を行った 11:25~11:40 は、上空 2000~7000m 地点では、**0.834 (m/s)** で南東の風が吹いていたと考えられる。

5. 考察と今後の展望

本研究では、上空の雲の移動速度を観測することで、ピンポイントで安価に上空の風速を観測することを可能にした。これは、特定の地点で観測をすることで、気象予報や災害予知の幅を広げられると考えられる。また、代入すべき数値を入れると簡単に雲の移動速度を求められるので、近年発達している数値モデルによる気象予知との互換性も高いと言える。理論的にも整合性があり、雲の移動速度を求める研究としてはかなり精度の高いものになったと言える。一方で、やはり目視での観測には精度に限界がある。計測精度の向上については、今後の研究課題としたい。

6. 特別な謝辞

海城中学校 太田宥氏

数式の考案や検証をしていただいた太田宥氏には、一層感謝申し上げます。

7. 謝辞

海城中学高等学校地学科教諭 山田直樹氏

海城中学高等学校地学科教諭 岩出昌氏

海城中学高等学校数学科教諭 上野大樹氏

海城中学高等学校数学科教諭 中村哲也氏

海城中学校 三沢謙悟氏

海城中学校 都筑亮佑氏

海城中学校 平塚諒瑛氏

本研究の遂行にあたり、多くの方々に多大なご指導ご鞭撻を賜りました。この場を借りまして、感謝を申し上げます。