

# 上空風速観測機「空廊」

Cloud movement speed measuring device 「Kuro」

©内田拓人 野中智彰 田島結人 塚原悠一郎 原航平 (東京都 私立海城中学高等学校 地学部)



## 1. 研究背景・目的

前提:上空の風速や雲の動きの測定によって急激な気象状況の変化がわかる

→ 未然に災害被害を防ぐために観測が必要

○現在上空の風速を計測する方法

- ・ラジゾンデ
- ・ウインドプロファイラ
- ・ドップラーレーダー
- ・気象衛星

→どれも高価、観測地点が限定される、等の欠点があり、自由な測定はできない。

しかし、上記のような問題点を指摘した論文や書籍、それに対処できるような機器はあまり見受けられない。

→新しい機器の開発が不可欠



## 2. 実験の概要

### ①使用した機材

- ・RICOH THETA SC, THETA S, 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

### ②考え方: 移動速度xを求める・角を求める

移動速度xを求める考え方

移動前と移動後の雲の底面の中心をそれぞれO<sub>1</sub>、O<sub>2</sub>とする

観測点をそれぞれA、B、Cと定義し、三角錐O<sub>1</sub>ABCとO<sub>2</sub>ABCに見立てる

垂線O<sub>1</sub>H<sub>1</sub>とO<sub>2</sub>H<sub>2</sub>を定義する

O<sub>1</sub>とO<sub>2</sub>間の距離(またはH<sub>1</sub>とH<sub>2</sub>間)xを求める

③④で必要となる角を求める考え方

△AO<sub>1</sub>H<sub>1</sub>と△AO<sub>2</sub>H<sub>2</sub>は相似である

天球の円上の十字の交点を基準に、カメラに写る平面上の天球上の雲の中心と十字線が成す角度を求める

### ③雲の移動速度を求めるための式

#### ①重心座標の2点間距離を求める式

$$x = \frac{1}{S_{ABC}} \sqrt{-a^2(S_{H_1CA} - S_{H_2CA})(S_{H_1AB} - S_{H_2AB}) - b^2(S_{H_1AB} - S_{H_2AB})(S_{H_1BC} - S_{H_2BC}) - c^2(S_{H_1BC} - S_{H_2BC})(S_{H_1CA} - S_{H_2CA})}$$

※太田有氏提供

→ 測る角度は多いが、観測地点とHの成す角以外測る必要はなく、これらの角が正確に測れる場合は誤差が拡大しにくい。角度の計測を自動化した場合などに適用する。

#### ②正弦定理を適用した式

$$\frac{a}{\sin CH_1B} = \frac{H_1B}{\sin H_1CB} \quad \frac{x}{\sin H_1BH_2} = \frac{H_1B}{\sin H_1H_2B} \quad x = \frac{a \cdot \sin H_1CB \cdot \sin H_1BH_2}{\sin H_1H_2B \cdot \sin CH_1B}$$

→ 測る角度は少ないが、観測地点とHの成す角の他に、画像から直に測るのではなく一回△ABCの描かれた画像に落とし込んで新しく測る必要のある角が存在し、ある程度誤差が生じるため、角度の計測を手動で行う場合に適用する

→ 今回は手動で角を測るため、後者の式を使用

#### ④雲底高度を求めるための式

雲底高度を求める式(正弦定理を用い、O<sub>n</sub>H<sub>n</sub>(仰角)を測る必要あり)

先行研究に基づき作成

$$O_n H_n = \frac{c \cdot \sin H_n BA \cdot \tan OAH_n}{\sin(180 - H_n BA - H_n AB)}$$

※3

## 3. 実験方法

① 透明半球を被せた360°カメラで、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字線がそれぞれ東西南北を示すように設置する。また、このとき、A地点からは仰角(OAH<sub>n</sub>)も求める。

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 十字線の交点が中心の画像から、十字線と写った雲の成す角(北からn度など)を測定する。

④ ③の角を△ABCの描かれた画像に落とし込み、xを求める式の角(∠H<sub>1</sub>CB・∠H<sub>1</sub>BH<sub>2</sub>・∠H<sub>1</sub>BH<sub>2</sub>・∠H<sub>1</sub>H<sub>2</sub>B)と雲底高度を求める式の角(∠H<sub>n</sub>BA・∠H<sub>n</sub>AB)を測る。

⑤ 前章の式に角を代入、移動速度xと雲底高度O<sub>n</sub>H<sub>n</sub>を求める。雲のある地点の高さと風速を求められる。(鉛直方向の風速を求めることも可能)

## 謝辞・参考文献等一覧

以下の方々に様々なアドバイスをいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

- ・海城中学 三沢謙信氏
- ・海城中学 都筑亮佑氏
- ・海城中学 松岡亮祐氏
- ・海城中学 長澤健賢氏
- ・海城中学 平塚諒瑛氏
- ・海城高校 大山恭佑氏
- ・海城中学 中村智也氏

・海城中学校 三沢謙信氏  
・海城中学校 都筑亮佑氏  
・海城中学校 松岡亮祐氏  
・海城中学校 長澤健賢氏  
・海城中学校 平塚諒瑛氏  
・海城高校 大山恭佑氏  
また、数式の考案や検証をしていただいた海城中学校 太田有氏には、一層感謝申し上げます。

## 参考資料一覧

- ① 実験用ホームページ「Windプロファイラ」とは引用 [https://www.data-jms.go.jp/dofou/shosai/kansoku/koso/WPR\\_about.html](https://www.data-jms.go.jp/dofou/shosai/kansoku/koso/WPR_about.html)
- ② 教材で使えるイラスト素材の天球図を加工して作成 <https://sozai.manabishiroba.net/rika/149/>
- ③ 一般社団法人日本気象予報士会の数式を参考に作成 <https://www.joho.jp/member/interfex/c/cloudobs5.htm>

## 4. 実験の結果

### ①実験1: 水平方向の雲の移動速度を求める

#### 【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。最も西の地点をA、最も南の地点をB、最も北の地点をCとする。A地点-B地点(c)は約290m、B地点-C(a)地点は約360m、C地点-A地点(b)は約420mである



出典: GoogleMap

#### 【観測結果】(2024年11月10日)

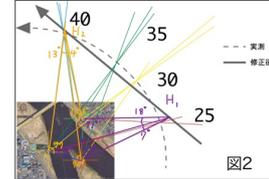
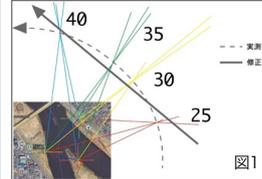
- 11時25分から40分にかけて、5分ごとに雲の画像を撮影した。
- 赤い丸のついている雲の移動速度を測定する。
- 図1の通りの結果となった。
- 図1から近似直線を通り、直線上で25分と40分に最も近い点をそれぞれH<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>とする。すると、H<sub>1</sub>はA地点の真東から北に82°、B地点の真北から西に82°、C地点の真北から西に79°となり、H<sub>2</sub>はA地点の真東から北に16°、B地点の真東から北に26°、C地点の真東から北に1°であった。(図2)
- 正弦定理を適用した式を用いて、x(H<sub>1</sub>H<sub>2</sub>)を算出する。

$$x = H_1 H_2 = \frac{a \cdot \sin H_1 CB \cdot \sin H_1 BH_2}{\sin H_1 H_2 B \cdot \sin CH_1 B} = \frac{360 \cdot \sin 91^\circ \cdot \sin 72^\circ}{\sin 43^\circ \cdot \sin 25^\circ}$$

これを解くとxは1.19\*10<sup>3</sup>m(1187.8m)である。

測った秒数は15分\*60秒なので、時間(秒)t=900である。

$$1187.8/900 \approx 1.32 \text{ (m/s)}$$



観測した雲



観測風景

また、観測した雲は層積雲に当たると考えられる。層積雲は通常上空800~2000mに現れるため、11:25~11:40、上空800~2000mでは、1.32(m/s)で南東の風が吹いていた。

### ②実験2: 雲底高度と鉛直方向の雲の移動速度を求める

つくば市の赤塚トーホーランド南公園(東側、A)と小野川児童公園(西側、B)で、10:17と10:20に観測を行った。二点間の距離は約1482mである。

A地点からの仰角は、17分が5°、20分が25°であった。(図3) H<sub>1</sub>はA地点の真北から東に5°、B地点の真北から東に8°、H<sub>2</sub>はA地点の真北から西に39°、B地点の真北から西に22°であった。(図4)

雲底高度を求めるための式を用いて、O<sub>n</sub>H<sub>n</sub>を算出する。

$$O_1 H_1 = \frac{c \cdot \sin H_n BA \cdot \tan OAH_n}{\sin(180 - H_n BA - H_n AB)} = \frac{1482 \cdot \sin 125^\circ \cdot \tan 5^\circ}{\sin 8^\circ} = 763.1$$

$$O_2 H_2 = \frac{c \cdot \sin H_n BA \cdot \tan OAH_n}{\sin(180 - H_n BA - H_n AB)} = \frac{1482 \cdot \sin 155^\circ \cdot \tan 25^\circ}{\sin 23^\circ} = 747.5$$

測った秒数は3分\*60秒なので、時間(秒)t=180である。

$$(763.1 - 747.5)/180 \approx 0.087 \text{ (m/s)}$$

雲が763mから747mに下降しており、0.087(m/s)で下向きの風が吹いていた。

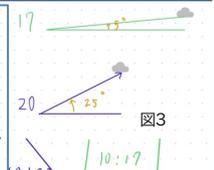


図3

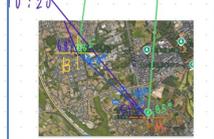


図4



観測した雲

## 5. 考察とまとめ

### ① 上空800~2000mの風が1.32(m/s)で吹いていた

→ 実際の層積雲の動きや天気の変化が普段よりもゆっくりに見えたことと整合的

### ② 雲が763mから747mに下降し、0.087(m/s)の風が下向きに吹いていた

→ 雲が層積雲に見えること、下降気流が吹いていた(低層の雲が徐々に消えていった)ことと整合的

### ③ 局地観測や広域の観測網としての活用が期待される一方、

正弦定理を適用した式では精度に限界

→ 重心座標の2点間距離を求める式を適用したいため、各角を正確に求められるようにする観測の自動化が今後の課題

→ 自動化により、より観測機器としての実用性が高まる