



加古川東高校中庭内の空気循環にエアコン排熱が及ぼす影響

阿野, 優吾 ; 大谷, 美貴 ; 小林, 由奈 ; 柴田, 涼佑 ; 伊藤, 真緒 ; 鈴木, ゆき

(Citation)

兵庫地理, 68:141-145

(Issue Date)

2023

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100482462>

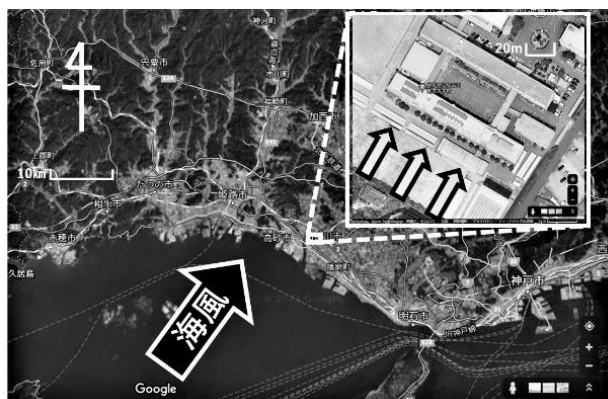


加古川東高校中庭内の空気循環にエアコン排熱が及ぼす影響

阿野優吾、大谷美貴、小林由奈、柴田涼佑、伊藤真緒、鈴木ゆき

I. はじめに

都市部におけるヒートアイランド現象には、2つの建物と道路の連続によって構成される「都市キャニオン」内の空気循環が影響していることが知られている。このキャニオン内部には、上空とは独立した気層（キャノピー層）があり、上空に道路と直交した方向に風が吹くとキャニオン内部に螺旋状の循環が生じる。都市におけるヒートアイランド現象の研究は、都市域スケールのもやシミュレーションによる研究が多く、数10m程度の街路スケールにおける観測・実験はあまりみられない。そのため、キャニオン内部での空気循環やその影響はあまり解明されていない。こうした中で、高橋ほか（1997）は、キャニオン内部の空気循環に着目した先駆的研究といえる。そこで、私たちはこうした研究を踏まえ、加古川東高校の「校舎と中庭」を切り取られた都市キャニオンとみた。そして、都市部と同様に、校舎間に存在する空間内に空気循環が存在していると考えた。本研究では、中庭内に設置された室外機（エアコン）の排気が空気循環を強化し内部の気温に影響を与えているという仮説を立て、調査を進めた。こうした研究のデータの蓄積がヒートアイランド現象解明の一助になると考えている。



第1図 加古川東高校

Google map により作成

まず、本校周辺の気象条件について述べる。第1図に本校の位置と校舎の配置を示した。

次に2021年の7,8月に関して、時間ごとの風向を示す(第2図)。図は環境省「環境省大気汚染物質広域監視システム」における、加古川市役所の観測データを利用した。2021年7~8月において降雨のみられなかった計29日間について時間ごとの風向を調べた。表中の数字は観測された回数で、多いところを濃く表現した。

		時間																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
風向	N	2	3	3	1	1	0	0	2	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	NNE	3	2	4	4	5	5	3	3	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	2	2	2	4	2	3
	NE	11	10	11	10	13	13	12	7	3	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	7	10	9	7	
	ENE	7	9	6	8	7	6	9	2	4	2	2	0	0	1	0	0	2	2	2	3	6	5	10	12
	E	0	0	1	0	0	1	0	2	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	2	3	3	2
	ESE	0	1	0	1	0	0	0	3	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
	SE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	0	0	
	SSE	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	1	0	0	
	S	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	1	0	0	0	1	0	1	1	5	3	2	0	0
	SSW	0	1	0	0	0	0	0	1	2	2	2	3	3	1	1	1	3	4	2	2	2	0	1	0
SW	0	0	0	1	0	0	1	3	3	9	12	14	14	13	13	16	14	11	8	4	1	0	0	0	
WSW	3	0	2	1	2	1	1	1	4	6	5	9	8	11	7	7	7	4	3	0	0	0	0	0	
W	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	5	1	1	2	0	1	1	1	1	2	2	0	0	0	
NNW	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	
NW	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
N	1	1	2	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	

第2図 時間ごとの風向

環境省のデータによる。

図中の数字は7,8月の晴天時の風向。

これらの図より、加古川東高校が位置する東播磨地域では、1日周期で南西からの海風と北東からの陸風が入れ替わることが分かる。そして、夏の昼間においては南西方向の海風が、校舎に垂直方向にあたっている。

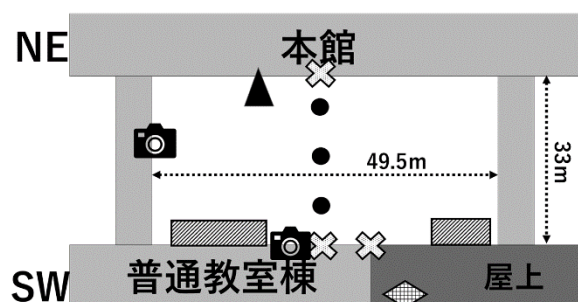
II. 観測方法

観測は、校舎に直交する海風の強まる夏場の2021年8月11日午後に、エアコンをオン、オフに分けておこなった。当日の天候は終日曇りであった

- ①中庭内の風の動きの観測
- ②上空の風速の計測
- ③循環の下降気流の風速の計測
- ④中庭内の温度の測定

第3図に①~④の観測装置の配置を示している。また、当日の観測スケジュールを第4図に示した。

その後、シミュレーションソフト（AutodeskCFD）を用い上空の風速を揃え、観測結果との整合性を確かめた。



- …パイロットバルーン放球地点
- …室外機
- ▲ …超音波風向風速計設置地点
- 📷 …撮影地点
- ◇ …風向風速計設置地点
- ✕ …おんどり設置地点

第3図 観測装置配置図

筆者作成。

時	エアコン	放球観測	超音波風向風速計	風向風速計	温度計測
13:00					
13:30	オン				
14:00					
15:00	オフ				
15:30					
16:00					
16:40					
17:00					
17:30					

第4図 観測スケジュール

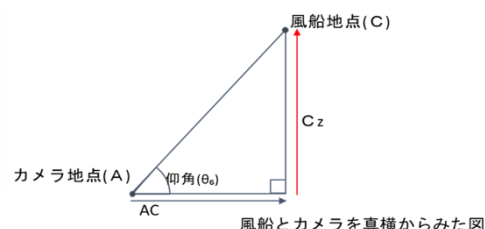
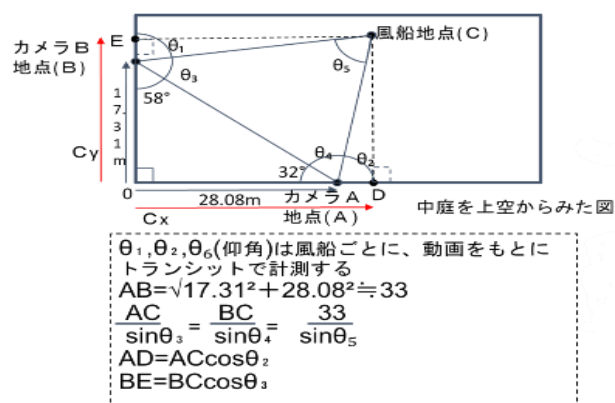
筆者作成。

Ⅲ. 結果

(1) バルーンによる中庭内の風の観測

ヘリウムを注入して上昇率を計測し、回収用の釣り糸を付けたパイロットバルーンを中庭から放球した。これを3地点から順次行い、その様子を2地点から動画で撮影した。エアコンのオン時5本、オフ時6本の計11本のデータを得た。後日、動画とバルーン背後の景色とを照らし合わせながら、2カ所

の撮影地点からクリノメーターを用いてバルーンの角度を計測し、3秒ごとの3次元座標を計算した。計算方法は図の通りである(第5図)。



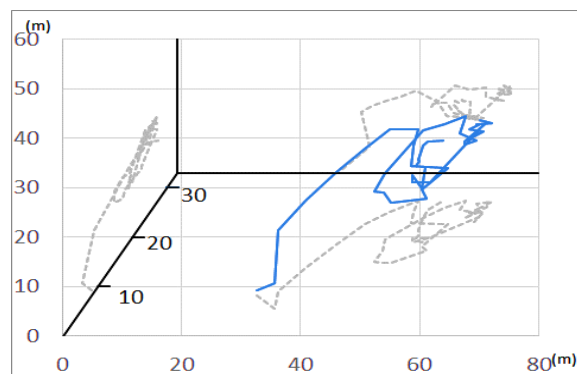
$$\begin{aligned}
 Cx &= 28.08 + AD \\
 Cy &= 17.31 + BE \\
 Cz &= AC \tan \theta_6
 \end{aligned}$$

第5図 座標算出方法

上図平面、下図垂直方向。筆者作成。

その後、座標の軌道から上昇率を引いた各地点の風ベクトルを割り出した。上昇率については観測直前に体育館で計測し1.1m/sの値を得ている。

放球の結果、11 サンプルの軌道を計測することができた。3次元化したバルーン軌道の事例を第6図に示す。エアコンオフ時のものである。



第6図 バルーン軌道事例

実線はバルーンの軌道、点線はxyz面に投影したもの
筆者作成。

(2) 上空の風速

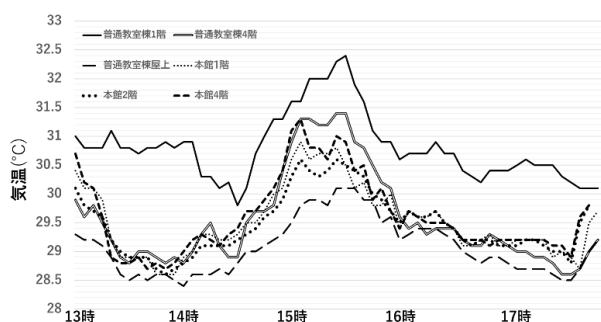
上空の風を計測するために、屋上に風向風速計を設置し、10 分間ごとの平均の風速と 10 分ごとの風向を計測した。

(3) 循環の下降気流の風速

循環の下降気流を調べるために本館 1 階横の中庭に超音波風向風速計 (SAT-530) を設置した。サンプリングレート 4/秒で風向風速を計測した。

(4) 各地点の温度

校舎の中庭側 5 ヲ所、屋上 1 ヲ所に遮光装置を付けたロガー付き温度計(おんどとり)を取り付け、各地点の 5 分ごとの気温推移を測定した。なお実験当日は曇っていたため、日射による影響は少なかった。各地点の気温変化を 5 分ごとに示した(第 7 図)。



第 7 図 各地点の気温変化

筆者作成。

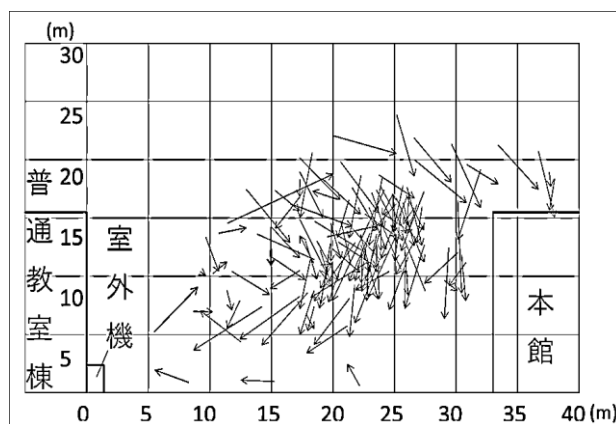
IV. 考察

(1) 各地点の風向、風速

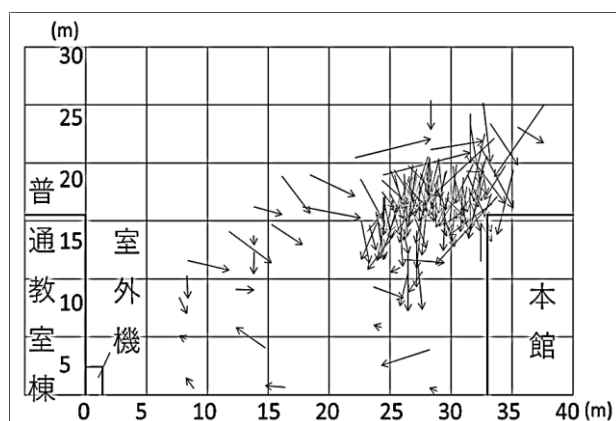
第 8 図はバルーンの軌道からバルーンの上昇率を差し引いた風ベクトル図である。風ベクトルを校舎と垂直方向 (SW-NE) に投影している。両図とも図より校舎間で循環が生じていることが分かる。またエアコンオン時の本館上端に近い部分に矢印が集中しており、バルーンが停滞している。このことから、オン時の方が、オフ時より下降気流が弱いことが分かる。このように予想に反した結果となったのは、観測当日の海風がエアコンオン時よりもオフ時の方が強かったためと考えられる。

(2) 上空と下降気流の比

観測期間内における上空の風速は同一ではない。偶

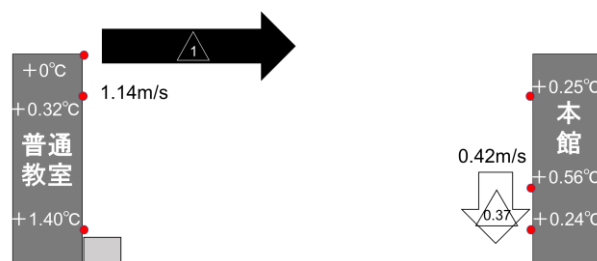


第 8 図 A エアコンオフの時のベクトル



第 8 図 B エアコンオンの時のベクトル

両図とも筆者作成。



第 9 図 A 風速比 エアコンオフの時



第 9 図 B 風速比 エアコンオンの時

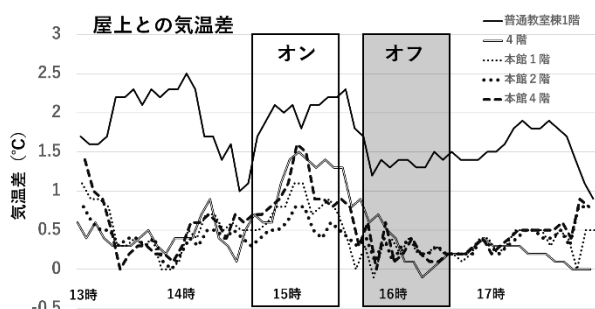
両図とも筆者作成。

然にも、オフ時の平均風速は 1.14m/s でオン時の 0.43m/s よりも 2 倍以上強かった。そこでオン、オ

フ時それぞれの屋上の風速を1とした時の本館側1階付近における下降気流比を算出すると、オン時が0.76、オフ時が0.37となった(第9図)。よって、屋上の風に対する下降気流の比率はオン時のほうが約2倍高くなり、循環が強化されていると推定できる。

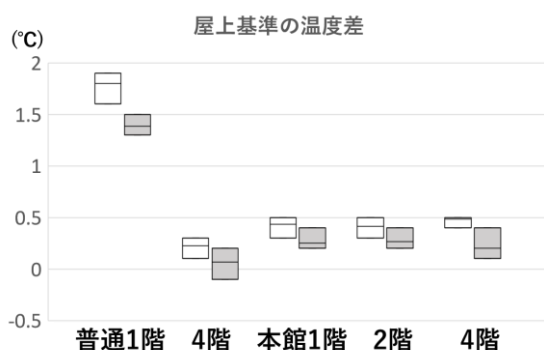
(3)各地点の温度

屋上の観測地点はキャニオン外部に位置することから、屋上で観測した温度をあたり一帯の自然な気温として定めた。屋上を基準とした各地点の気温差の推移を第10図に示す。エアコンオンとオフの移行期を10分として、その前後50分をエアコンオン、オフ時の気温サンプルとした。各地点における屋上との温度差の平均値、最大値、最小値をオン時とオフ時に分け算出した(第11図)。オン時は、オフ時と比べ屋上との気温差が大きく、最大値と最小値の差も大きくなる。つまり、キャノピー層外との気温差が拡大する傾向にある。



第10図 各地点の屋上との気温差の推移

筆者作成。



第11図 各地点の屋上との気温差

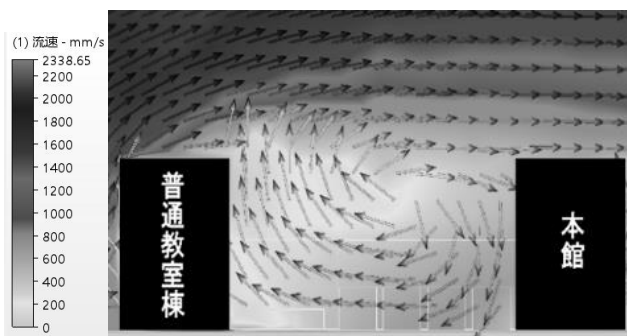
筆者作成。

(4)シミュレーション

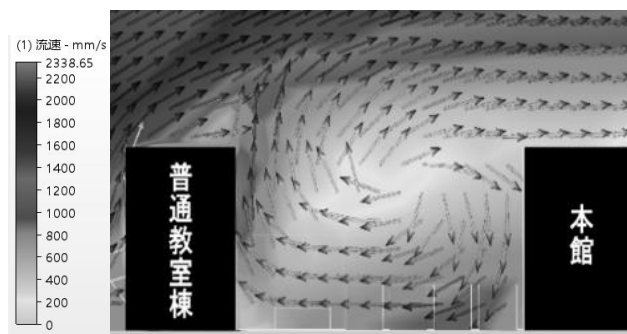
これまでの観測結果では、エアコンのオン、オフ時において海風の平均風速が異なっていた。私たち

は、海風と下降気流の比からエアコンが循環を強化していると推定したが、この点をより明確にさせるためシミュレーションをおこなった。まず、校舎の配置や高さを現実の通りとした。次に、上空の南西風(海風)については、エアコンオン時の平均である1.14m/sを用いた。さらに、エアコン室外機の条件については、実測に基づいて風速3.5m/s、温度48℃に設定した。

オフ時には、上空の風がキャニオンに蓋をした状態であることが確認でき、校舎間に循環が見られた(第12図)。一方、オン時にはキャニオン内の循環が普通教室棟上階や本館1階付近で激しくなっていることが読み取れる。



第12図A エアコンオフの時のベクトル

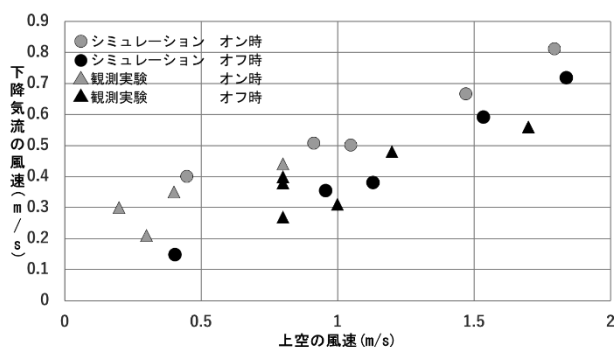


第12図B エアコンオンの時のベクトル

両図筆者作成。

上空の風速を1とした下降気流の比率を算出すると、オン時で0.48、オフ時で0.34となった。これは観測結果とやや異なるものの、オン時の比率はオフ時よりも高くなった。このことから、キャニオン内の循環は強化されていると分かる。

上空の風速と下降気流の関係を散布図にて示す(図第13図)。観測実験時の結果に上空の風速を何段階かでシミュレーションしたものを加えている。



第 13 図 上空の風速と下降気流の風速

筆者作成。

観測・シミュレーションともにエアコンオン時の方がオフ時よりも下降気流が強く現れている。また、シミュレーション結果と観測実験結果がほぼ一直線上に並んでいる。以上のことから、観測結果との整合性は十分であるといえる。

V. まとめと今後の課題

ヒートアイランド現象の原因として、エアコン排熱があることは知られているが、都市キャニオンにおいてどのように滞熱しているのかについては未解明な点が多い。本研究では都市内部でのヒートアイランド現象の 1 例を、街路スケールで解明することができた。また、田坂ほか(1988)で述べられている通り、都市キャニオンを包括的に代表するモデルを考えることは困難であるが、より近いモデルを作る一助となると考える。

一方、本研究では、キャニオン内で熱が滞留する結果を得ることができた。しかしながら熱のシミュレーションを行うことができず、そのメカニズムについては明らかにすることができなかった。今後は、中庭内の温度分布の垂直断面図を作成し、より詳しく熱の滞留を確認したい。また、海風以外の風や、夜間の熱の放射、冬場の空気循環について、観測とシミュレーションを併せて行っていきたい。

付記

本研究は、加古川東高校自然科学部地学班における研究をまとめたものであり、顧問の小橋拓司教諭の指導を受けた。また、神戸学院大学福島あずさ先

生には研究方法について助言いただくとともに様々な機器を貸していただいた。奈良大学木村圭司先生には超音波風向風速計をお借りした。観測時にはエアコンを停止させる必要があり、教職員の方々や生徒の皆様にご迷惑をおかけした。加えて京都大学生の野田歩夢様にはシミュレーションについてご教示を得た。記して謝意を表します。

なお、この研究の一部を 2021 年 11 月第 45 回兵庫県総合文化祭自然科学部門発表会において口頭発表(地学分野最優秀賞)、2022 年 5 月日本地球惑星連合 2022 年大会「高校生によるポスター発表」において発表した(奨励賞)。また、2022 年 8 月第 46 回全国高等学校総合文化祭自然科学部門において発表、2022 年 8 月日本地学教育学会第 76 回全国大会 ジュニアセッションにおいて発表した(優秀賞)。これらの発表の際には、多くの方々よりご教示をいただいた。厚く御礼申し上げます。

文献

- 田坂 郁夫・高橋 日出男・設楽 寛(1988)：都市キャニオン内における気温分布および空気循環の観測, 地理学評論, pp. 541-559.
- 高橋 日出男・手島 正樹・中里 元・福岡 義隆(1997)：小気球のコマ撮りによる都市キャニオン内の空気循環の測定, 地理学評論, pp. 92-107.

(あの ゆうご、おおたに みき、こばやし ゆな、しばた りょうすけ、いとう まお、すずき ゆき
兵庫県立加古川東高等学校)