

## 温湿度を用いた冬期の小学校におけるインフルエンザ発生に関する時系列分析

学校におけるインフルエンザ発生と室内空気環境の関係に関する研究

## TIME SERIES ANALYSIS ON THE INCIDENCE OF INFLUENZA IN ELEMENTARY SCHOOLS DURING WINTER SEASON USING TEMPERATURE AND HUMIDITY

Study on the relationship between indoor air environment and the incidence of influenza in schools

岩下 剛\*

Go IWASHITA

In schools, sick leave might be a significant index of productivity. Elementary schools are thought to be amplifiers for infections in influenza in communities. In School Health and Safety Act, children are told to stay home in case of an epidemic of influenza. The humidity ratio had been reported to be a critical factor for infection of influenza. However the relationship between the really measured indoor thermal factors and the incidence of influenza is rarely investigated. Then the room temperature and relative humidity were continuously measured in twelve classrooms in a public elementary school in Tokyo. And the period of analysis was set as 3 winter seasons from 2005/2006 to 2007/2008. The average values of the room temperature per every winter season in all classrooms were met the School Environmental Sanitary Standard. On the other hand, the average values of indoor relative humidity in some classrooms were lower than the standard value. The high correlation coefficients were not obtained in the relationship between the average values of indoor thermal factors, i.e., air temperature, relative humidity, and humidity ratio per every winter season in each classroom, and the number of absence on account of flu. Focusing on the period when absence on flue had occurred, the room temperature of two days before the absence had a high correlation with the number of absence on flu.

**Keywords:** Influenza, Elementary schools, Humidity ratio, Relative humidity  
インフルエンザ, 小学校, 絶対湿度, 相対湿度

## 1. はじめに

環境の質が在室者のプロダクティビティへ及ぼす影響を算定する方法の一つとして、1) 欠勤や不在・休息や仕事の中断時間、2) 病欠欠勤、事故、怪我等に伴う保健医療費、等が挙げられている。Fiskらは換気量の増加につれオフィスの病欠欠勤が減ることを報告し<sup>1)</sup>、岩下らは欠席調査により冷房機設置前後の小学校の児童病欠率の比較を行っている<sup>2)</sup>。プロダクティビティの指標として模擬タスクの単位時間当たりの作業量などを用いた研究だけでなく、病欠欠席や事故の発生頻度をプロダクティビティの指標として捉える研究も増えつつある。

対象とする室内環境を学校教室に想定した場合、怪我等の事故と同等に重要視されるのは病欠であり、特に冬期に問題となるのはインフルエンザの発生であろう。これまでインフルエンザに罹った場合、「解熱後2日間は出席停止」(幼児は3日)という基準のみが定められていたが、2014年4月の学校保健安全法改正により、「発

症後5日を経過し、かつ解熱した後2日(幼児は3日)を経過するまで出席停止となること」と変更され、保護者、教育者へインフルエンザ対策の意識の周到が進んでいる。インフルエンザの流行では、曝露歴が少なく活動性の高い児童が密集して長時間生活する小学校が感染の増幅器となることが懸念されている、と清水らは述べている<sup>3)</sup>。彼らが三重県のある小学校で解析したインフルエンザ発症状況によると、発生児童の感染源は学級内が50.0~66.7%、学級外(家庭を含む)が33.4~50.0%であったとのことである<sup>3)</sup>。インフルエンザ感染は教室環境だけではなく、家庭、通学、通塾等の環境の影響も大きい。本研究では、学級内感染の可能性が50.0~66.7%という清水らの結果<sup>3)</sup>を前提とし、教室環境とインフルエンザ欠席との関係に着目する。

微生物学者Harperは低湿度でインフルエンザウイルスの生存率が高かったと報告し<sup>4)</sup>、またやはり微生物学者であるLowenらは、インフルエンザウイルス感染と温湿度の関係を調査して、暖房によつ

\* 東京都市大学工学部建築学科 教授・工博

Prof. Dept. of Architecture, Tokyo City University, Dr.Eng.

て低下した相対湿度および低温の状態ではインフルエンザウイルスが伝染しやすいことを報告している<sup>5)</sup>。倉瀬らは Harper の実験結果を用いインフルエンザウイルスの生存率には絶対湿度が重要であることを検証している<sup>6)</sup>。一方、蓬田・近藤らは国立感染症研究所感染症情報センターのインフルエンザ様疾患発生報告（学級欠席者数）を用いて東京都内の学校施設におけるインフルエンザ感染と湿度の関係について分析を行い、絶対湿度が低くなるほどインフルエンザ感染者数が多くなることを報告している<sup>7)</sup>。庄司らも国立感染症研究所感染症情報センターのデータを用い、絶対湿度とインフルエンザ感染との関係を調査しインフルエンザの流行予測を行っている<sup>8)</sup>。これら公表されている国立感染症研究所感染症情報センターのデータは週単位のデータであるため、比較に用いられる気象データの湿度は週平均湿度である。また、公表データに基づく上記の研究は休校、学年閉鎖、学級閉鎖があった場合に、その施設数や患者数、欠席者数を計上するものであり、学級閉鎖等のない通常の授業実施時における欠席状態の調査とは異なっている。インフルエンザウイルスの生存、活性という点から絶対湿度を気候の指標とする場合がしばしば見受けられるが、ヒト側の環境で言えば、冬期は寒気のため鼻咽喉の粘膜が炎症を起しやすく病原体の侵入が容易であるため気温および相対湿度が指標とされている場合もある<sup>9)</sup>。

筆者らは2005年12月上旬から2006年3月上旬まで、東京都の2つの小学校教室（計25教室）で出欠調査及び温湿度測定を行い、相対湿度が30%以下になることが多く教室内相対湿度の低い教室ほど欠席率が高くなる学校と、相対湿度が30%以下になることが少なく教室内相対湿度と欠席率の相関が見られない学校が見られたことを報告した<sup>10)</sup>。この研究においては欠席率、湿度とも実測期間である3ヶ月の平均値を基に分析を行っている。

上述したような、週単位や月単位の温湿度データおよび欠席データを用いて分析した例に比べ、たとえば日単位のような、より細かい時系列単位のデータを用いてインフルエンザによる欠席と温湿度データとの関連を調査した研究は少ない。また教室内での感染の増幅度合いを想定すると、各教室で測定された温湿度データとインフルエンザ欠席変動との関係を調べるのが有用と思われる。そこで本研究では、まず第一に、東京都のある小学校において冬期3年間にわたり出欠調査および温湿度測定を行い、インフルエンザによる欠席率と教室内温湿度との関係を考察した。また、前述したようにインフルエンザの感染源は教室内のみではないと考えられるため、学級外での外気温湿度条件とインフルエンザ欠席との関係についても検討することとする。

## 2. 調査方法

本研究の実測対象となったのは、東京23区内の暖房設備（FF暖房）を有し、換気設備を持たない公立S小学校であり、実測年度は表1に示すように2005年度冬期、2006年度冬期、2007年度冬期である。換気は主に窓開けによって行われていた。

S小学校は各学年2学級の計12学級からなる。S小学校の2階および3階の平面図を図1に示す。

S小学校の普通教室において表1に示す期間に空気温度、相対湿度の連続測定を行った。温湿度測定はメモリー付温湿度計（T&D社72U）を用い、各教室の黒板上部に設置した。測定間隔は30分であ

る。実測対象校では、養護教諭により、毎日、学級ごとの出欠席票が作成されており、その中の出席停止データのうち、インフルエンザによる出席停止データを本研究におけるインフルエンザ欠席データとした。

Table 1 Measured factors and measuring period

Year	measuring period	measured factors
2005	Dec. 1 <sup>st</sup> /2005～March 8 <sup>th</sup> /2006	room temperature,
2006	Dec. 8 <sup>th</sup> /2006～March 6 <sup>th</sup> /2007	relative humidity
2007	Dec. 10 <sup>th</sup> /2007～Feb. 27 <sup>th</sup> /2008	(every 30 minutes)

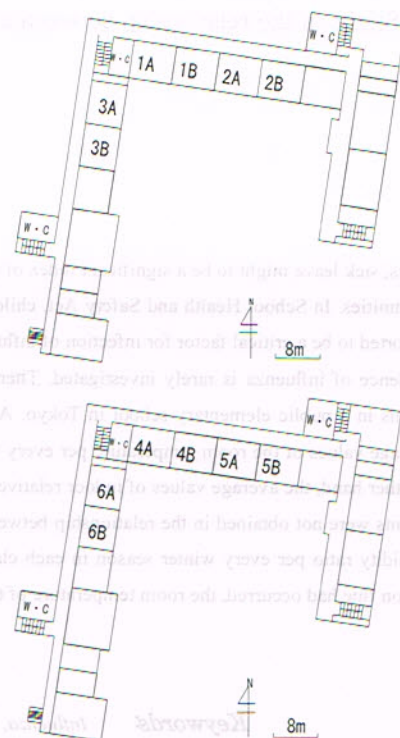


Fig.1 Plan of school S (upper:2<sup>nd</sup> floor, lower 3<sup>rd</sup> floor)

Table 2 Number of pupils and absences on account of illness or flu per each season in each class

	2005			2006			2007		
	no.	illnes s	flu	no.	illnes s	flu	no.	illnes s	flu
1st grade, A*	37	62	3	31	59	0	30	40	7
1st grade, B	39	62	4	32	28	0	31	37	4
2nd grade, A	27	46	0	38	95	0	29	42	0
2nd grade, B	28	35	17	40	50	0	30	21	6
3rd grade, A	39	57	7	27	29	0	38	56	17
3rd grade, B	39	107	1	26	24	0	38	33	15
4th grade, A	35	52	6	39	43	0	27	25	2
4th grade, B	35	37	8	38	80	0	24	17	0
5th grade, A	37	48	10	33	57	0	38	44	0
5th grade, B	37	32	6	35	44	0	37	66	4
6th grade, A	30	59	4	36	40	0	34	56	4
6th grade, B	29	58	12	37	31	0	35	32	16
Average	34.3	54.6	6.5	34.3	48.3	0	32.6	39.1	6.3

\* Class A of 1st grade number: number of pupils in each class  
illness: number of absence on account of illness  
flu: number of absence on account of flu

### 3. 実測結果

#### 3.1 実測期間平均

S 小学校の 2005 年度冬期, 2006 年度冬期, 2007 年度冬期の実測期間における各学級の在籍人数, 病欠数およびインフルエンザ欠席数を表 2 に示す。病欠数とは病気を理由に欠席をした生徒数, インフルエンザ欠席数はインフルエンザと医師に判断され出席停止となった生徒数である。

Table 3 Room temperature, relative humidity and humidity ratio

	2005			2006			2007		
	RT (°C)	RH (%)	ratio (g/kg)	RT (°C)	RH (%)	ratio (g/kg)	RT (°C)	RH (%)	ratio (g/kg)
1st grade, A	19.3	33.0	4.55	19.0	34.9	4.77	17.1	34.1	4.13
1st grade, B	20.1	29.2	4.26	19.1	34.6	4.77	19.6	24.2	3.40
2nd grade, A	18.2	32.4	4.19	19.0	35.0	4.78	18.8	25.2	3.32
2nd grade, B	18.6	32.2	4.25	18.9	35.2	4.78	19.9	22.6	3.17
3rd grade, A	17.5	36.8	4.53	18.9	35.7	4.86	19.0	31.9	4.14
3rd grade, B	17.7	38.1	4.75	18.9	36.1	4.88	18.9	30.4	4.05
4th grade, A	18.5	31.9	4.14	18.5	37.4	4.94	19.3	31.2	4.19
4th grade, B	18.0	38.3	4.87	18.4	37.3	4.91	18.2	32.9	4.23
5th grade, A	19.7	30.8	4.26	18.4	37.0	4.87	17.6	33.2	4.13
5th grade, B	18.2	33.1	4.14	18.5	36.9	4.88	17.8	35.0	4.43
6th grade, A	15.3	43.3	4.66	19.1	34.3	4.69	18.8	28.2	3.77
6th grade, B	17.9	31.7	4.01	18.2	35.6	4.60	21.6	25.4	4.01
Average	18.3	34.2	4.39	18.8	35.8	4.81	18.9	29.5	3.91

RT: Average room temperature RH: Average room relative humidity  
ratio: Average room humidity ratio

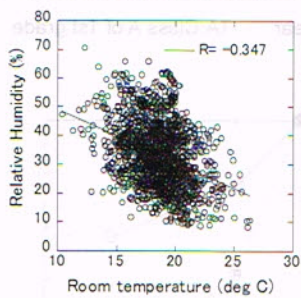


Fig.2 Room temperature and indoor relative humidity

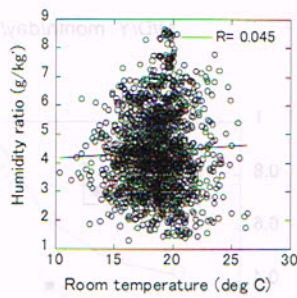


Fig.3 Room temperature and indoor humidity ratio

Table 4 Reported number of incidence of flu in Tokyo during measuring period

	2005			2006			2007		
	start <sup>*4</sup>	end <sup>*5</sup>	com. <sup>*6</sup>	start	end	com.	start	end	com.
closing grades <sup>*1</sup>	0	0	0	0	109	109	13	41	28
closing classes <sup>*2</sup>	1	463	462	0	481	481	97	359	262
absence <sup>*3</sup>	13	10089	10076	0	11540	11540	1544	5530	3986

\*1 temporary closing grades \*2 temporary closing classes  
\*3 number of absence on account of flu \*4 at the start of the winter season (A)  
\*5 at the end of the winter season (B) \*6 comulative value, (B)-(A)

室温, 相対湿度, 絶対湿度の平均値を表 3 に示す。なお表 3 のデータは生徒が在籍していると考えられる午前 8 時半から午後 4 時までのデータを用いている。また土日および冬休み期間は除いている。図 2 に全測定データにおける室温と室相対湿度との関係を図 3 に室温と絶対湿度との関係を示す。表 3, 図 2, 図 3 を見ると, 各学級の室温は学校環境衛生基準に記載されている 10°C 以上 30°C 以下という望ましい範囲内に入っていることがわかる。一方, 各教室の相対

湿度は学校環境衛生基準の望ましい範囲である 30% 以上 80% 以下という範囲から低い側に外れているケースがいくつか見られる。

表 2 に示したインフルエンザ欠席者数は, 毎日記録されるインフルエンザ欠席者数の各年度 (冬期調査期間) 毎の延人数である。表 2 を見ると, 2006 年度冬期のインフルエンザ欠席者数が 0 名となっており, 他の年度に比べ顕著に少ない数となっている。国立感染症研究所感染症情報センターのインフルエンザ様疾患発生報告 (学級欠席者数) の実測対象期間における東京の欠席者数は表 4 に示すように, 2006 年度のインフルエンザ発生数が少ないわけではない。表 4 には本実測研究と同時期の調査期間における東京都のインフルエンザ様疾患による学年閉鎖数 (temporary closing grades), 学級閉鎖数 (temporary closing classes), 欠席者数が示されている。「開始時 (start)」の欄に示されている数は, 本実測研究の各年度の開始時に相当する週の東京都の値を示しており, 「終了時 (end)」の欄の数は本実測研究の各年度の終了時に相当する週の値である。また「累積 (com.)」は「終了時」の値から「開始時」の値を引いたものである。2006 年度のインフルエンザ様疾患発生報告では開始時には報告数が 0 であったのに対し, 2007 年度では開始時に既に多くのインフルエンザ様疾患が報告されていたことがわかるが, 本実測研究における各年度の平均インフルエンザ欠席数との相関は低い。通学距離が短く公共交通を通勤に用いない公立 S 小学校ではインフルエンザの流行は, 東京都全体の流行傾向とは異なっていることが推測される。また, 表 3 を見ると 2006 年の絶対湿度が全体的に 2005 年, 2007 年より高くなっていることがわかり, その影響も推察される。

表 3 に示した空気温度, 相対湿度及びこれらから計算によって求めた絶対湿度と病欠数・インフルエンザ欠席者数との関係を図 4~図 6 に示す。病欠数は 1/10 の値がプロットされている。また, 図 4~図 6 では, 各プロットが表 2 および表 3 中の各学級の値を示している (n=36)。図 4 の相関係数 R は 0.19 と低く, 両者に相関関係は見られない (p=0.27)。図 5 に示した各学級教室内の平均相対湿度とインフルエンザ欠席者数との関係においても相関係数 R は -0.332 と高くはなく, 相関関係は危険率 5% では有意ではない (p=0.054)。また, 図 6 に示した絶対湿度とインフルエンザ欠席者数の関係でも相関係数 R は -0.334 と高くなく相関も危険率 5% では有意ではない (p=0.053)。

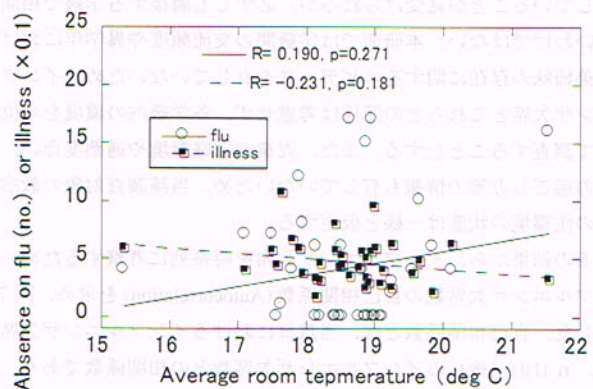


Fig.4 Daily average room temperature as a function of the number of absence of flu or illness per every season in each class

平均絶対湿度との相関を表している。図 10 では  $x_0 \sim x_3$  のどれについても相関は 5% の危険率では有意ではない。相関係数  $R$  も図 8、図 9 に比べ低くなっているが、その中でインフルエンザ欠席率との相関が最も高いのは 1 日前の絶対湿度 ( $x_1$ ) であることがわかる。

#### 4. 考察

小学校におけるインフルエンザの感染源は学級内と同等に学級外も考えられるため、気象データから得られる東京の温湿度要素と本実測で得られたインフルエンザ欠席率との関係を求めることにした。気象データは気象庁監修の「地上気象観測時日別」に基づく「気象データベース・地上観測」<sup>11)</sup> の 2005~2007 年度の東京における日別データを用いた。図 11 に測定期間における外気温と外気相対湿度との関係を、図 12 に外気温と外気絶対湿度との関係を示す。外気温は学校環境衛生基準に記載されている 10℃以上 30℃以下という望ましい範囲内から低い側に大きく外れ、外気相対湿度は学校環境衛生基準の望ましい範囲である 30%以上 80%以下という範囲に多くのデータが入っている。これは図 2 の教室内条件と逆の結果である。

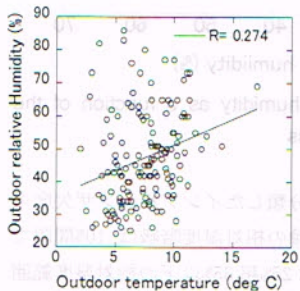


Fig.11 Outdoor temperature and the outdoor relative humidity

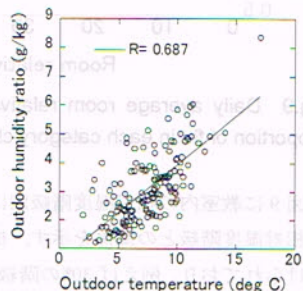


Fig.12 Outdoor temperature and the outdoor humidity ratio

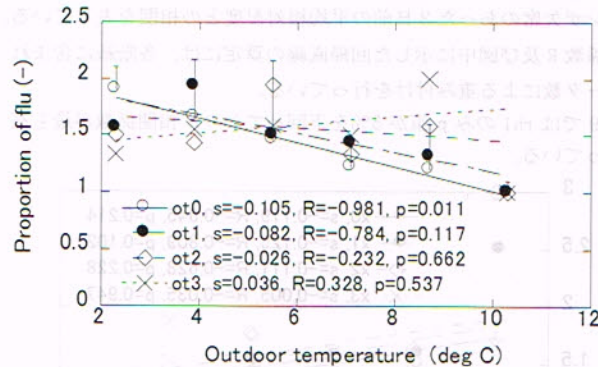


Fig.13 Daily average outdoor temperature as a function of the proportion of flu in each category class

図 8~図 10 に用いた各日におけるインフルエンザ欠席数データ ( $n=105$ ) を当該日の日平均外気温、日平均外気相対湿度及びこれらから算定される日平均絶対湿度とマッチングさせた。図 13 に外気温の階級別に分類したインフルエンザ欠席率を示す。「ot0」の凡例は、インフルエンザ欠席のあった当日の日平均外気温との相関を表しており、「ot1」はインフルエンザ欠席のあった前日の日平均外気温との相関を、「ot2」は 2 日前の日平均外気温との、「ot3」は 3 日前の日平均外気温との相関を表している ot1~ot3 の lag が週末にかかる場合、データは得られない。相関係数  $R$  及び図中に示した回帰直線の算定には、各階級に含まれるデータ数による重み付けを行って

り、回帰式は線形回帰を用い、図中、 $s$  は一回帰式の傾きを示している。

図 13 では ot0 のみ相関が有意 ( $p < 0.05$ ) である。図 8 の室温との相関では相関係数の値が正であり、室温の上昇とともにインフルエンザ欠席率が上昇する傾向があったが、図 13 では相関係数が有意であった ot0 の相関係数値は負であり、外気温の低下とともに欠席率が上昇している。図 13 では図 8 に比べ温度が低く、基準の 10℃を下回っているため、室温上昇による相対湿度の低下という図 8 における温度の間接的な影響ではなく、寒さによる直接的な寄与がインフルエンザ欠席率上昇に表れていると考えられる。外気温の中で当日の外気温 (ot0) のみ相関係数が有意であったのは、インフルエンザ欠席の発生が直近の寒さの影響を大きく受けていることを示すと思われる。また図 13 における ot0 の回帰直線の傾きは、図 8 で最も相関係数の高かった t2 の傾きより小さい。

図 14 に気象データで得られた東京の外気相対湿度階級別に分類したインフルエンザ欠席率と外気相対湿度階級との関係を示す。「orh0」の凡例は、当日の日平均外気相対湿度との相関を表しており、「orh3」は 3 日前の日平均外気相対湿度との相関を表している。図 14 では外気相対湿度 60% 以下では相対湿度の低下とともにインフルエンザ欠席が上昇する傾向が見られるが、orh0~orh3 のどの相関係数も相関は有意ではない ( $p > 0.05$ )。

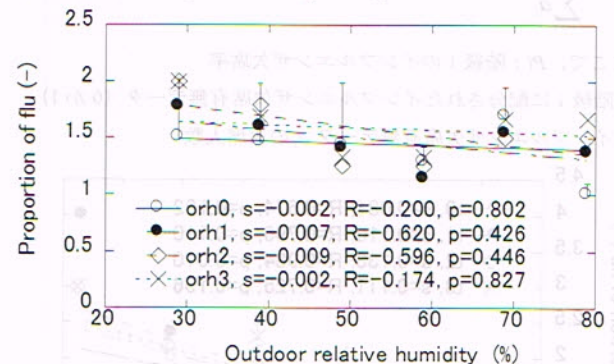


Fig.14 Daily average outdoor relative humidity as a function of the proportion of flu in each category class

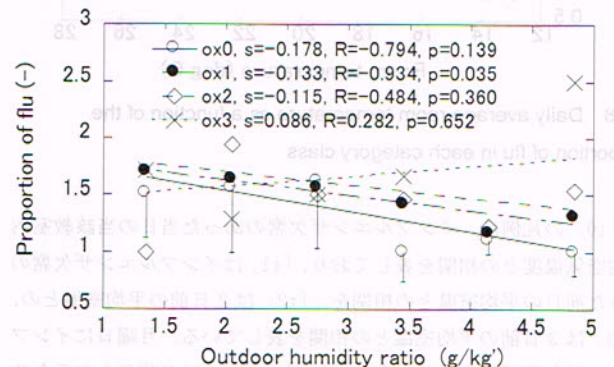


Fig.15 Daily average outdoor humidity ratio as a function of the proportion of flu in each category class

図 15 に気象データから得られた東京の外気絶対湿度階級別に分類したインフルエンザ欠席率と外気絶対湿度階級との関係を示す。図 15 では 1 日前の屋外絶対湿度 (ox1) のみ相関が有意であり ( $p < 0.05$ )、外気絶対湿度が低いときほどインフルエンザ欠席率が高

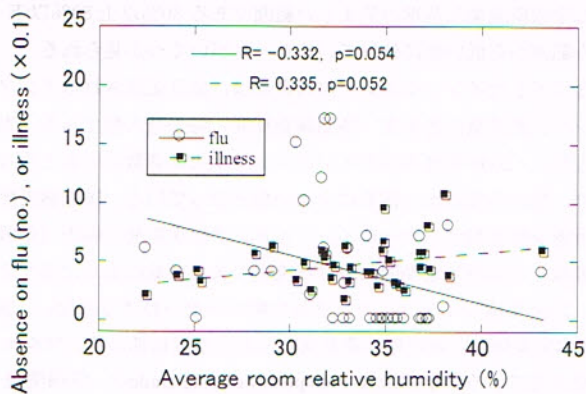


Fig.5 Daily average room relative humidity as a function of the number of absence of flu or illness per every season in each class

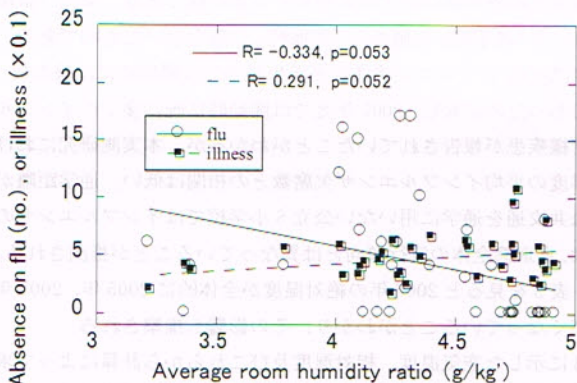


Fig.6 Daily average room humidity ratio as a function of the number of absence of flu or illness per every season in each class

### 3.2 経日変化

インフルエンザ欠席の発生があった学級におけるインフルエンザ欠席発生日と、インフルエンザ欠席人数の一覧を表5に示す。表5は2005年、2007年度実測の結果であり、2006年度はインフルエンザ欠席が無かったため無い。

表5を見ると、ある期間にインフルエンザ欠席が複数学級に同時発生していることが見受けられるが、必ずしも隣接する学級で相関が高いわけではない。本研究では学級間の交流頻度や異学年における兄弟姉妹の存在に関するエビデンスを有していないため、インフルエンザ欠席とこれらとの関係は考慮せず、各学級内の環境を単位として調査することとする。また、児童の家庭環境や通塾度合い、週末の過ごし方等の情報も有していないため、当該調査対象の教室以外の住環境の状態は一樣と仮定する。

表5の結果から、インフルエンザ欠席を時系列に考察するため、インフルエンザ欠席数の自己相関係数(Autocorrelation)を求め、図7に示した。自己相関係数とは、当該日におけるインフルエンザ欠席数と、n日前(後)のインフルエンザ欠席数との相関係数であり、当該日(lag=0)のデータ数は105個である。清水らは、インフルエンザの潜伏期間を基本的には1~2日、長めに設定して3日間と捉えており<sup>3)</sup>、本研究においても、インフルエンザ欠席の前後3日間を時系列解析の範囲とした。1日前のインフルエンザ欠席数との相関係数は図中、lag=-1で表され、1日後との相関係数はlag=1で表さ

れる。当該小学校は土日休日のため、月曜日の値を対象とした場合、lag=-1,-2(日)のデータは無く、lag=-3(日)は前週の金曜日のデータとなるが、週末の各児童の過ごし環境は平日に比べ差が大きいと考えられるため、週末をはさんだlag=-3はデータとして用いていない。

Table 5 Number of absentees for flu in each class

M/D/Y	1A	1B	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6A	6B	M/D/Y	1A	1B	2B	3A	3B	4A	5B	6A	6B	
1/10/05		1										12/17/07	1									
1/11/05		1										12/19/07	1									
1/12/05				1	1							12/20/07	1	1								
1/13/05						1						12/21/07		1								
1/16/05			2	1	1				1			1/8/08			1				1			
1/17/05			3	1	1	1			1			1/9/08				1			1			
1/18/05			3	1					1			1/10/08					1			1		
1/19/05			3	2					1			1/11/08			1					1		
1/20/05			6	1						1		1/15/08				2						
1/27/05	1											1/16/08				1						
2/2/05					1	1				3		1/22/08	1	1	4	1						
2/3/05					1	1				4		1/23/08	1	1	4	4						
2/6/05						2	1		1	1		1/24/08	1		3	3			1			
2/7/05						1	1		1	1		1/25/08	1	1	3	3	1		1			
2/8/05						1	2		1	1		1/28/08			1		1		1			1
2/9/05			1	1	3	1	1		1	1		1/29/08										1
2/10/05						1	3					1/30/08										1
2/13/05		1										1/31/08										1
2/16/05												2/1/08										1
2/17/05												2/4/08										3
2/20/05	1											2/5/08										1
2/21/05	1											2/6/08										1
2/22/05	1											2/7/08										2
												2/8/08										1
												2/14/08				1						1
												2/15/08				1						1
												2/18/08				1						1
												2/19/08				1						1

M/D/Y: month/day/year 1A: Class A of 1st grade

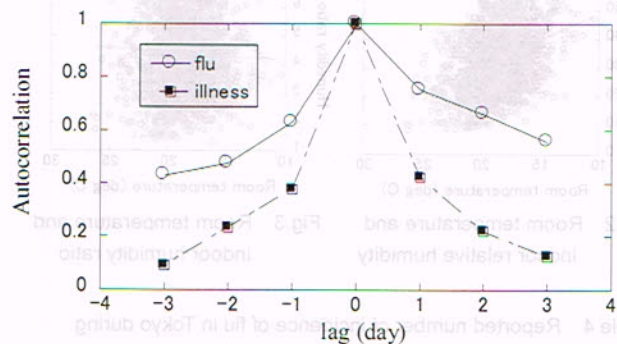


Fig.7 Autocorrelation of absentees for flu and that for illness

図7を見ると、インフルエンザ欠席数(flu)の1日前(-1)との自己相関係数は0.63、1日後との自己相関係数は0.75であり、±3日の範囲では正值のlagの方が相関係数が高い。週頭にインフルエンザ欠席数の増加がみられ、これが週の中盤まで続くケースが多く、正值のlagの方が自己相関係数が高いのは、このような状況を表していると考えられる。週頭のインフルエンザ欠席数の増加を過去に遡った場合、週末にかかってしまいデータが得られないため、負値のlagの自己相関係数が相対的に低くなったのだと考えられる。清水らは、インフルエンザ欠席初日を発症日とし、その前日を他の児童への感染可能日としている<sup>3)</sup>。週末データの無い本研究では、週頭にインフルエンザ欠席初日が多いが、その場合、感染可能日の前日は週末にかかるため、影響を算定できない。インフルエンザ欠席の前日が週末にかからないデータのみで、感染可能日である前日の

影響は評価されることになる。図7には病欠数(illness)の自己相関係数も示すが、同一の lag において、インフルエンザ欠席数の自己相関係数は病欠数に比べ顕著に高い。

表5に示したインフルエンザ欠席発生期間のデータを用い、各日における各教室の温湿度データとインフルエンザ欠席者数との対データ(n=105)を基に回帰分析を行った。図8に室温の階級別に分類したインフルエンザ欠席率(Proportion of flu)と室温階級との関係を示す。横軸の室温階級は3℃間隔で設けられており、例えば最初のプロットである12.5℃の階級は11℃超14℃以下の室温範囲を示している。表5に示されたインフルエンザ欠席の各データが発生した日の発生教室の日平均室温に着目し、日平均室温階級に発生有無データ  $a_i$  (0か1)を配分した。ここで日平均室温とは午前8時半から午後4時までの室温の平均値である。各室温階級に配分されたインフルエンザ欠席発生有無データ  $a_i$  は表5のようにそれぞれが1~6名の欠席者数  $S_i$  を有しており、式(1)のように当該階級に配分された  $S_i$  の総和を当該階級に配分された  $a_i$  の総和で除した値がインフルエンザ欠席率  $P_i$  となる。表5のインフルエンザ欠席発生期間を対象としているため、最低値は1であり、欠席者数が多い階級ほど、インフルエンザ欠席発生率は高くなっている。

$$P_i = \frac{\sum S_i}{\sum a_i} \quad (1)$$

ここで、 $P_i$ : 階級  $i$  のインフルエンザ欠席率  
 $a_i$ : 階級  $i$  に配分されたインフルエンザ欠席有無データ (0か1)  
 $S_i$ : インフルエンザ欠席有無データ  $a_i$  の欠席人数

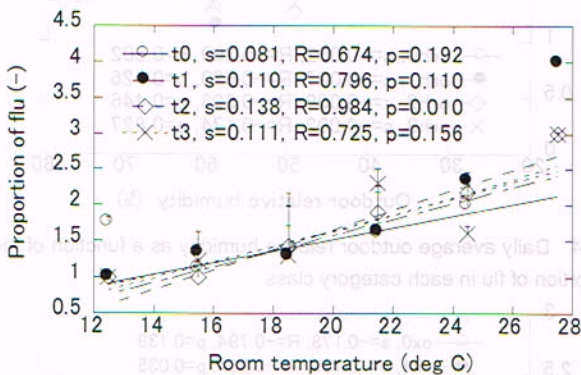


Fig.8 Daily average room temperature as a function of the proportion of flu in each category class

「t0」の凡例は、インフルエンザ欠席のあった当日の当該教室内平均空気温度との相関を表しており、「t1」はインフルエンザ欠席のあった前日の平均室温との相関を、「t2」は2日前の平均室温との、「t3」は3日前の平均室温との相関を表している。月曜日にインフルエンザ欠席が発生した場合、1日前となる t1 は日曜日となるため、このように週末に lag がかかる場合は、図7と同様にデータは得られない。月曜日にインフルエンザ欠席が発生した場合の3日前(t3)は前週の金曜日となるため、データは存在するが、前述のように週末をはさんだ解析は行わないこととした。なお、教室の日平均室温は前述したとおり午前8時半から午後4時までのデータを用いて算出している。室温とインフルエンザ欠席率との因果関係を把握する

理論的なモデルは不明なため、ここでは第一段階として回帰は線形回帰によって行った。相関係数 R 及び図中に示した回帰直線の算定には、各階級に含まれるデータ数による重み付けを行っている。t0 における各階級に含まれるデータ数の 1/50 が図中プロットのエラーバーとして表示されている。図中、s は一次回帰式の傾きを示す。図8ではインフルエンザ欠席の二日前の室温 (t2) のみ相関係数の p 値が5%を下回っており相関係数が有意であり、また、インフルエンザ欠席の生じた当日の室温 (t0) との相関係数よりも高くなっている。

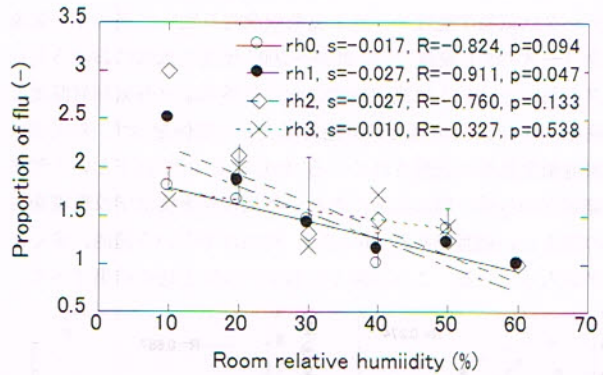


Fig.9 Daily average room relative humidity as a function of the proportion of flu in each category class

図9に教室内の相対湿度階級別に分類したインフルエンザ欠席率と相対湿度階級との関係を示す。横軸の相対湿度階級は10%間隔で設けられており、例えば30%の階級は25%超35%以下の相対湿度範囲を示している。「rh0」の凡例は、インフルエンザ欠席のあった当日の当該教室内平均相対湿度との相関を表しており、「rh3」はインフルエンザ欠席のあった3日前の平均相対湿度との相関を表している。相関係数 R 及び図中に示した回帰直線の算定には、各階級に含まれるデータ数による重み付けを行っている。

図9では rh1 のみ p 値が5%を下回っており、相関係数が最も高くなっている。

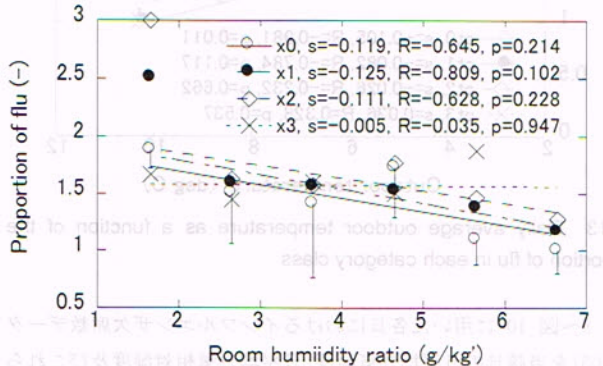


Fig.10 Daily average room humidity ratio as a function of the proportion of flu in each category class

図10に教室内の絶対湿度階級別に分類したインフルエンザ欠席率と絶対湿度階級との関係を示す。横軸の絶対湿度階級は1g/kg'間隔で設けられており、回帰は線形回帰を行っている。「x0」の凡例は、インフルエンザ欠席のあった当日の当該教室内平均絶対湿度との相関を表しており、「x3」はインフルエンザ欠席のあった3日前の

平均絶対湿度との相関を表している。図 10 では  $x_0 \sim x_3$  のどれについても相関は 5% の危険率では有意ではない。相関係数  $R$  も図 8、図 9 に比べ低くなっているが、その中でインフルエンザ欠席率との相関が最も高いのは 1 日前の絶対湿度 ( $x_1$ ) であることがわかる。

#### 4. 考察

小学校におけるインフルエンザの感染源は学級内と同等に学級外も考えられるため、気象データから得られる東京の温湿度要素と本実測で得られたインフルエンザ欠席率との関係を求めることにした。気象データは気象庁監修の「地上気象観測時日別」に基づく「気象データベース・地上観測」<sup>11)</sup> の 2005~2007 年度の東京における日別データを用いた。図 11 に測定期間における外気温と外気相対湿度との関係を、図 12 に外気温と外気絶対湿度との関係を示す。外気温は学校環境衛生基準に記載されている 10℃以上 30℃以下という望ましい範囲内から低い側に大きく外れ、外気相対湿度は学校環境衛生基準の望ましい範囲である 30%以上 80%以下という範囲に多くのデータが入っている。これは図 2 の教室内条件と逆の結果である。

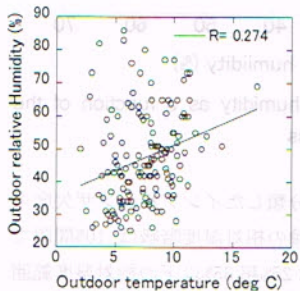


Fig.11 Outdoor temperature and the outdoor relative humidity

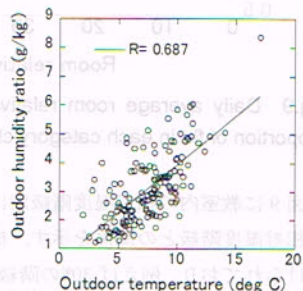


Fig.12 Outdoor temperature and the outdoor humidity ratio

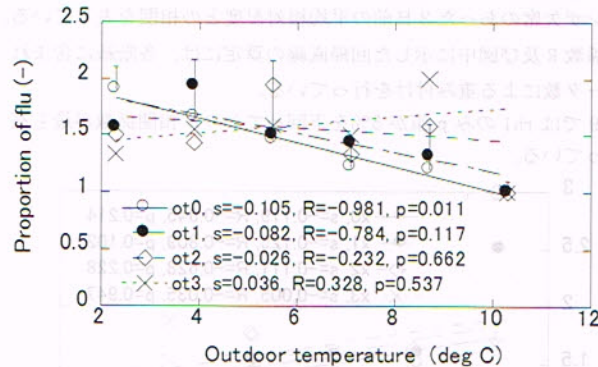


Fig.13 Daily average outdoor temperature as a function of the proportion of flu in each category class

図 8~図 10 に用いた各日におけるインフルエンザ欠席数データ ( $n=105$ ) を当該日の日平均外気温、日平均外気相対湿度及びこれらから算定される日平均絶対湿度とマッチングさせた。図 13 に外気温の階級別に分類したインフルエンザ欠席率を示す。「ot0」の凡例は、インフルエンザ欠席のあった当日の日平均外気温との相関を表しており、「ot1」はインフルエンザ欠席のあった前日の日平均外気温との相関を、「ot2」は 2 日前の日平均外気温との、「ot3」は 3 日前の日平均外気温との相関を表している ot1~ot3 の lag が週末にかかる場合、データは得られない。相関係数  $R$  及び図中に示した回帰直線の算定には、各階級に含まれるデータ数による重み付けを行って

り、回帰式は線形回帰を用い、図中、 $s$  は一回帰式の傾きを示している。

図 13 では ot0 のみ相関が有意 ( $p < 0.05$ ) である。図 8 の室温との相関では相関係数の値が正であり、室温の上昇とともにインフルエンザ欠席率が上昇する傾向があったが、図 13 では相関係数が有意であった ot0 の相関係数値は負であり、外気温の低下とともに欠席率が上昇している。図 13 では図 8 に比べ温度が低く、基準の 10℃を下回っているため、室温上昇による相対湿度の低下という図 8 における温度の間接的な影響ではなく、寒さによる直接的な寄与がインフルエンザ欠席率上昇に表れていると考えられる。外気温の中で当日の外気温 (ot0) のみ相関係数が有意であったのは、インフルエンザ欠席の発生が直近の寒さの影響を大きく受けていることを示すと思われる。また図 13 における ot0 の回帰直線の傾きは、図 8 で最も相関係数の高かった t2 の傾きより小さい。

図 14 に気象データで得られた東京の外気相対湿度階級別に分類したインフルエンザ欠席率と外気相対湿度階級との関係を示す。「orh0」の凡例は、当日の日平均外気相対湿度との相関を表しており、「orh3」は 3 日前の日平均外気相対湿度との相関を表している。図 14 では外気相対湿度 60% 以下では相対湿度の低下とともにインフルエンザ欠席が上昇する傾向が見られるが、orh0~orh3 のどの相関係数も相関は有意ではない ( $p > 0.05$ )。

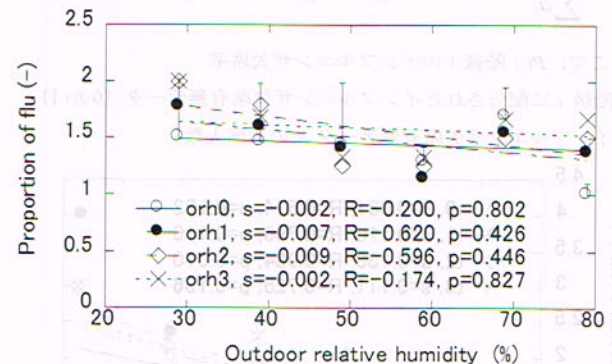


Fig.14 Daily average outdoor relative humidity as a function of the proportion of flu in each category class

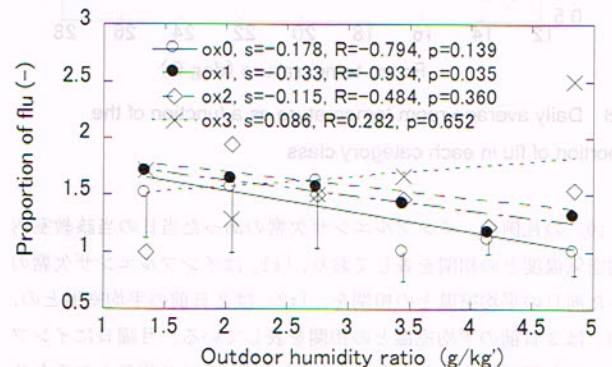


Fig.15 Daily average outdoor humidity ratio as a function of the proportion of flu in each category class

図 15 に気象データから得られた東京の外気絶対湿度階級別に分類したインフルエンザ欠席率と外気絶対湿度階級との関係を示す。図 15 では 1 日前の屋外絶対湿度 (ox1) のみ相関が有意であり ( $p < 0.05$ )、外気絶対湿度が低いときほどインフルエンザ欠席率が高

くなっている。絶対湿度がほぼ同範囲に散布していた図 10 の室内絶対湿度とインフルエンザ欠席率との関係において、最も相関係数の高かった x1 の回帰式の傾きと図 15 の ox1 の傾きを比べると、傾き s は同等の値となっている。

ここまで、室内因子、屋外因子のそれぞれがインフルエンザ欠席率に及ぼす影響を個々に調査してきたが、これらの因子は独立して制御されたわけではなく、複数の因子が同時に変動している。そこで、表 5 に示したデータを用いて重回帰分析を行った。目的変数はインフルエンザ欠席者数、説明変数は図 8～図 10、図 13～図 15 において p 値が 5%未満であった、1 日前の室内相対湿度 (rh1)、2 日前の室温 (t2)、当日の屋外気温 (ot0)、1 日前の屋外絶対湿度 (ox1) である。各説明変数の統計値を表 6 に示すが、重回帰式の p 値は 0.0047 であった。表 6 中の因子の内、p 値が 5%未満を満たすのは 2 日前の室温 t2 のみであり、偏相関係数 (partial correlation coefficient) が 0.29 と最も高い。標準偏回帰係数 (standard partial regression coefficient) の絶対値を見ると、t2 が最も大きく、rh1、ot0 と続くが、ox1 は小さく p 値も大きい。

清水らは、彼らの研究において、インフルエンザ欠席初日あるいは早退日を発症日とし、その前日を他の児童への感染可能日とした<sup>3)</sup>。本研究においてもインフルエンザ欠席の 1～2 日前の気候因子の標準偏回帰係数が高く、インフルエンザ発症日と仮定したインフルエンザ欠席初日の 1～2 日前を感染可能日と想定することは妥当と考えられる。しかし、感受性の差異によりインフルエンザ一次感染児童が発症せずインフルエンザ欠席に至らなかったとしても、その児童が感染可能状態になることは考えられ、この場合、インフルエンザ欠席初日の 1～2 日前を感染可能日とすることはできず、感染可能日を見落とすこととなる。

Table 6 Regression/correlation coefficient for each variables

variable	rh1	t2	ot0	ox1	constant term
partial regression coefficient	-0.021	0.114	-0.103	0.088	0.327
standard error	0.019	0.048	0.082	0.224	1.109
standard partial regression coefficient	-0.199	0.300	-0.190	0.080	
p-value	0.279	0.021	0.211	0.695	0.769
partial correlation coefficient	-0.139	0.290	-0.160	0.050	

従来の研究では絶対湿度がインフルエンザ発生に有意な影響を及ぼすという報告が多かったが、本研究では湿度因子の内、1 日前の室内相対湿度および 1 日前の屋外絶対湿度のみ相関係数の p 値が 5%未満であった。これも上述のように、インフルエンザ欠席の前日が感染可能日であるという仮定に合致した結果となっている。

## 5. まとめ

東京 23 区内公立 S 小学校の 12 普通教室 (12 学級) において、2005 年度冬期、2006 年度冬期、2007 年度冬期に空気温度、相対湿度の連続測定及びインフルエンザ欠席調査を行った。その結果、以下の知見が得られた。

1) 各学級の各冬期期間の平均室温は学校環境衛生基準に記載されている 10℃以上 30℃以下という望ましい範囲内に入っていた。一方、

各教室の平均相対湿度は学校環境衛生基準の望ましい範囲である 30%以上 80%以下という範囲から低い側に外れている学級がいくつか見られた。

2) 各学級の各冬期期間のインフルエンザ欠席数と当該学級の当該期間の平均室温との関係を求めたところ、高い相関係数は得られなかった。

3) インフルエンザ欠席の発生した学級の発生した期間のみのデータを用い、室内相対湿度とインフルエンザ欠席率との関係を求めた。インフルエンザ欠席発生率との相関係数の p 値が 5%未満であったのはインフルエンザ欠席 1 日前の室内相対湿度、2 日前の室温、当日の屋外気温、1 日前の屋外絶対湿度であった。

4) 目的変数をインフルエンザ欠席数とし、説明変数をインフルエンザ欠席 1 日前の室内相対湿度、2 日前の室温、当日の屋外気温、および 1 日前の屋外絶対湿度とする重回帰分析を行った結果、説明変数の p 値が 5%未満であったのは 2 日前の室温のみであった。

## 謝辞

実測にご協力頂きました東京都公立 S 小学校の関係各位に謝意を表します。本実測研究の実施には、当時、東京都市大学建築学科岩下研究室に在籍していた大学院生、卒論生の諸氏に多くの協力を得ました。

## 参考文献

- 1) W.J. Fisk, O. Seppänen, D. Faulkner, J. Huang, : Cost Benefit Analysis of Ventilation Control Strategies in an Office Building, Proc. Of Healthy Buildings 2003, Vol.3, pp.361-366, 2003.12
- 2) 岩下剛, 古賀隆文: 冷房導入後の小学校普通教室における夏季の温熱・空気環境の実態に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, 第 641 号, pp.877-882, 2009.7
- 3) 清水宣明, 片岡えりか, 西村秀一, 脇坂浩: ある小学校における A (H1N1) pdm09 パンデミックインフルエンザの感染伝播動態の解析, 環境感染誌, Vol.27, No.2, pp.96-104, 2012
- 4) G.J. Harper : Airborne Micro-organisms: Survival Tests with Four Viruses, J. Hyg., Camb., 59, pp.479-486, 1961
- 5) A.C. Lowen, S. Mubareka, J. Steel, P. Palese: Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature, PLoS Pathog., 3, pp.1470-1476, 2007
- 6) 倉淵隆, 小笠原岳, 熊谷一清, 浅利雄太郎: インフルエンザの感染に影響するインフルエンザウイルス生存率と絶対湿度の関係について, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1339-1342, 2009.9
- 7) 蓮田央, 岩瀬友紀, 近藤靖史, 藤原孝行: 都立高校教室における室内空気環境の実測と CFD 解析による換気・空調方式の検討, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻, 第 36 号, pp.583-587, 2011.6
- 8) 庄司眞: 季節とインフルエンザの流行, J. Natl. Inst. Public Health, 48(4), pp.282-290, 1999
- 9) 薩田清明, 乗木秀夫, 坂井富士子, 藪内清: インフルエンザ流行の時間差に関する研究— 平均気温, 平均相対湿度を中心として—, 感染症学雑誌, 第 59 巻第 4 号, pp.355-365, 1985
- 10) 岩下剛, 横山雄樹, 仲川純子, 阿部正太郎: 暖房期間における小学校普通教室の空気環境及び欠席率に関する調査研究 その 1～その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学, D-2, pp.63-68, 2006
- 11) (財) 気象業務支援センター監修: 気象データベース地上観測, ウェザー トーイ, 2010



# TIME SERIES ANALYSIS ON THE INCIDENCE OF INFLUENZA IN ELEMENTARY SCHOOLS DURING WINTER SEASON USING TEMPERATURE AND HUMIDITY

Study on the relationship between indoor air environment and the incidence of influenza in schools

Go IWASHITA\*

\* Prof., Dept. of Architecture, Tokyo City University, Dr.Eng.

A deteriorated indoor climate is commonly related to increases in sick building syndrome symptoms, respiratory illnesses, sick leave, reduced comfort and losses in productivity. In schools, sick leave might be a significant index of productivity. Elementary schools are thought to be amplifiers for infections in influenza in communities. In School Health and Safety Act, children are told to stay home in case of an epidemic of influenza. Therefore the indoor air environment should be controlled for avoiding an epidemic of influenza. The humidity ratio had been reported to be a critical factor for infection of influenza. However the relationship between the really measured indoor thermal factors and the incidence of influenza is rarely investigated. Then the room temperature and relative humidity are continuously measured in twelve classrooms in a public elementary school in Tokyo. And the period of analysis was set as 3 winter seasons from 2005/2006 to 2007/2008.

The average values of the room temperature per every winter season in all classrooms were met the School Environmental Sanitary Standard. On the other hand, the average values of indoor relative humidity were not met the standard in some classrooms and lower than the standard value.

The high correlation coefficients were not obtained in the relationship between the average values of indoor thermal factors, i.e., air temperature, relative humidity, and humidity ratio per every winter season in each classroom, and the number of absence on account of flu. Although the tendency was found that the lower the humidity, the greater the number of absence on account of flu, the correlation coefficient was low and not significant.

Focusing on the indoor climatic data when the absence of flu was occurred, the highest correlation coefficient was observed at 0.984 in the relationship between the daily average indoor temperature of two days before the absence and the probability of flu. The second highest correlation coefficient was observed in the relationship between the daily average indoor room relative humidity of one day before the absence and the probability of flu.

The significant high correlation was seen in the relationship between the probability of flu and the daily average outdoor air temperature of the absence day obtained from the meteorological data. The significant high correlation was also found in the relationship between the probability of flu and the daily average outdoor humidity ratio of one day before the absence.

A multiple regression analysis was conducted with the probability of flu as a objective variable. The explanatory variables were indoor and outdoor climatic factors. As a result of the analysis, the room temperature of two days before the absence was merely a significant factor ( $p < 0.05$ ). A time-series analysis for indoor/outdoor climate especially a few days before the absence could be useful for understanding the infection of flu.

Variable	Regression coefficient	Standard error	t-value	p-value
Room temperature (2 days before)	0.002	0.001	2.1	0.04
Room relative humidity (1 day before)	-0.001	0.001	-1.5	0.14
Outdoor air temperature (absence day)	0.005	0.001	5.2	<0.001
Outdoor humidity ratio (1 day before)	-0.002	0.001	-2.1	0.04

(2016年7月7日原稿受理, 2016年11月22日採用決定)