

中国都市部における住宅内空気環境と
児童のアレルギー性疾患との関連性についての調査SURVEY ON ASSOCIATION BETWEEN INDOOR AIR QUALITY OF DWELLINGS
AND CHILDREN'S ALLERGIC DISEASES IN URBAN REGIONS OF CHINA吉野 博*¹, 柳 宇*², 大竹 徹*³,
後藤 伴延*⁴, 長谷川 兼一*⁵, 鍵 直樹*⁶*Hiroshi YOSHINO, U YANAGI, Toru OTAKE,
Tomonobu GOTO, Kenichi HASEGAWA and Naoki KAGI*

In the present study, questionnaire surveys and field measurements were carried out in urban areas of China to clarify the association between children's allergic diseases and indoor environment. From this study, it was revealed that several questionnaire items regarding indoor air quality were associated with some children's allergic diseases. It was also suggested that VOCs and PM_{2.5} are major factors of children's allergic diseases in China. By comparing with a previous study in Japan, it was found that the prevalence rates of children's allergic diseases and indoor concentrations of airborne fungi and TVOC in Japan were higher than in China.

Keywords : Allergic diseases, Indoor environment, Questionnaire survey, Field measurement

アレルギー性疾患, 室内環境, アンケート調査, 実測調査

1. はじめに

この数十年で、児童のアレルギー性疾患の有症率は世界的に増加傾向¹⁾にあり、児童が生活する住宅の居住環境もその主な要因の1つとして考えられている。既に、スウェーデンやブルガリアなどの国々では大規模な疫学調査が実施²⁾されており、居住環境との関連性に強い関心が持たれている。日本では吉野ら³⁾が全国の小学校4, 5年生を対象とした大規模なアンケート調査(はがきアンケート回収数: 8000件, 詳細アンケート回収数: 1800件)と室内環境の実測調査(温湿度・化学物質の測定: 100件, 微生物の測定: 30~80件)を実施している(以降, 先行調査と略す)。この先行調査の結果では、結露やカビの発生とアレルギー性疾患の間に強い関連性が認められ、室内の高湿度状態に起因する微生物汚染等の問題が健康に影響を及ぼしている可能性を報告している。

中国においては、居住環境と児童のアレルギー性疾患の関連性についてのアンケート調査は存在^{例えば, 4)}するが、住宅の実測調査まで実施した調査例は少ない。近年, Sundell⁵⁾らがアンケート調査と実測調査による大規模な調査を実施⁶⁾しているが、中国の住宅におけ

る居住環境とアレルギー性疾患の関連性に関する知見はいまだに少ない現状にある。

そこで筆者らは、中国の都市住宅における結露・カビ問題・MVOC汚染の実態を全国規模で把握し、室内温湿度・建物性能・住まい方などの環境要因と結露・カビの発生状況, MVOCも含めた臭気問題や健康との関係を解明すると共に、結露・カビ発生の防止対策のための各種技術を用いた最適設計法, 並びに適切な住まい方を提案することを目的として研究を行っている。本報では、①中国都市部において児童のアレルギー性疾患の発症に影響を及ぼすと考えられる要因と、②日本で実施した先行調査の結果との比較による両国間の室内汚染状況の違いについて報告する。なお、本報で取り上げるアレルギー性疾患の症状は、「持続性せき」「持続性たん」「喘鳴」「気道過敏症」「花粉症様症状」「喘息様症状」である。

2. 研究方法

調査対象都市は、ハルビン、北京、大連、上海、武漢、長沙の計6都市である。この6都市を中国で建築設計のために作成された気

*¹ 東北大学 総長特命教授・工博*² 工学院大学建築学部 教授・博士(公衆衛生学・工学)*³ (研究当時)東北大学大学院工学研究科 博士前期課程*⁴ 東北大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)*⁵ 秋田県立大学システム科学技術学部 教授・博士(工学)*⁶ 東京工業大学環境・社会理工学院 准教授・博士(工学)

President-appointed Extraordinary Prof., Tohoku University, Dr.Eng.

Prof., Kogakuin University, Dr.Eng.

Former Grad. Student, Tohoku University

Assoc. Prof., Tohoku University, Dr.Eng.

Prof., Akita Prefectural University, Dr.Eng.

Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

候区分7で分類したものが Fig.1 である。本報では、この6都市すべてをまとめた分析のほか、厳寒地域と寒冷地域をまとめて「北部」、夏暑冬冷地域を「南部」として、2地域に分けた場合の分析も実施する。

Fig.2 に調査全体の概要を示す。本調査は、日本で実施した先行調査と同様に、小学校4、5年生の児童を対象としており、アンケート調査と実測調査の2つの調査から構成されている。日本の先行調査では、はじめにハガキによる簡易アンケート調査を実施してアンケート調査の対象者を絞り込んでいるが、本調査ではハガキによる簡易アンケート調査を実施していない。なお、中国都市部の住宅の大半は集合住宅であり、本調査の対象住宅でもほとんどが集合住宅となっている。また、各都市での調査は現地の協力大学^{注1)}が実施している。

3. アンケート調査

3.1 アンケート調査方法

アンケート調査は6都市合計で929人の児童を対象に実施された。循環器の発達時期が10歳前後であること、さらに10歳前後ではアレルギーに対する血清IgE値が高く、環境曝露による影響を受けやすいと言われていることから、調査対象児童を小学校4、5年生とした。現地の協力大学の附属小学校、または、現地の協力大学付近の小学校1~2校の協力を得た上で、担任を通してアンケート用紙の配布を行った。アンケート用紙は児童の親または保護者に記入してもらい、学校の先生を通して回収を行っている。

Table 1 にアンケートの配布数と回収状況を示す。配布数は合計929件であり、回収数は916件、回収率は98.6%であった。事前に学校の協力を得た上でアンケート用紙を配布したため、回収率は100%に近い割合となった。Table 2 に主な質問内容を示す。主な内容は児童の個人属性、健康状態、住宅属性、住宅設備、室内環境に関連する質問である。児童のアレルギー性疾患の調査項目として「持続性せき」「持続性たん」「喘鳴」「気道過敏症」「花粉症様症状」「喘息様症状(現在)」を取り上げた。また、これらのアレルギー性疾患のうち、少なくとも1つを有している児童を「何らかのアレルギー性疾患(現在)」と定義した。各疾患の判定は呼吸器・アレルギー性疾患についての疫学調査で広く用いられているATS-DLD問診票(環境庁版)⁸⁾に準じた質問項目を設け、質問への回答の組み合わせにより行った。

3.2 アレルギー性疾患の有症率

Table 3 にアレルギー性疾患の有症率を示す。表中には中国の全調査都市と北部・南部の2地域に分けた場合の有症率、さらに日本の先行調査で把握した有症率を示している。本節では中国の有症率について述べ、日本の先行調査結果との比較については第5章で述べる。

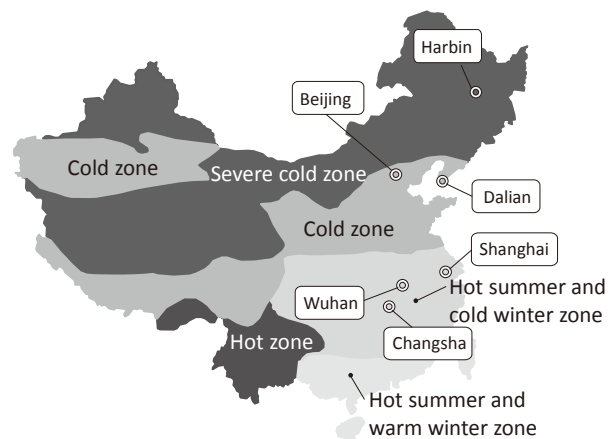


Fig.1 Target cities and climatic division

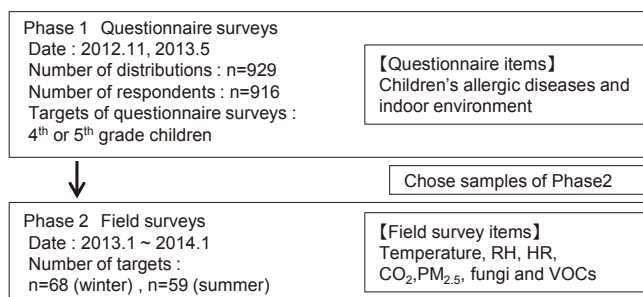


Fig.2 Outline of this study

Table 1 Distributions and respondents of questionnaires

City	Areas	Num. of distribution	Num. of respondents	Response rate(%)
Harbin	Sever cold zone	140	127	90.7
Beijing	North cities	154	154	100
Dalian				
Shanghai	South cities	205	205	100
Wuhan				
Changsha				
Total		929	916	98.6

Table 2 Questionnaire items

Personal attribute	Sex, Birth order, Type of infantile feeding
Health condition	Children's allergic diseases, Doctor diagnosed allergic symptoms in the past, Health conditions of families, Sleeping condition
Surrounding environment	Location of residence, Something located around residence
Dwelling performance	Age of building, Duration of residence, Total floor area, Area of rooms Wall and floor finishing materials, Type of window, Material of window sash
Dwelling equipment	Type of heating and cooling equipment, Operation period of heating equipment in living room, Existence of ventilating equipment, Operation period of ventilating equipment
Indoor environment	Feel damp or dry, Existence of visible mold and vapor condensation
Occupant behavior	Pet ownership, Frequency of using vacuum cleaner, Use of insecticide, Existence of smokers

Table 3 Prevalence rates of children's allergic diseases determined by questionnaire surveys

	Children's Allergic diseases													
	Continuous cough		Continuous sputum		Wheezing		Bronchial hypersensitivity		Hay fever (inc. similar symptoms)		Asthma (presently)		One or more allergic symptoms at present	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
China: all research cities (N=916)	29	3.2%	16	1.7%	36	3.9%	73	8.0%	321	35.0%	22	2.4%	361	39.4%
China: North cities (N=401)	7	1.7%	8	2.0%	14	3.5%	20	5.0%	110	27.4%	6	1.5%	124	30.9%
China: South cities (N=515)	22	4.3%	8	1.6%	22	4.3%	53	10.3%	211	41.0%	16	3.1%	237	46.0%
Japan: Yoshino ⁴⁾ (N=1846)	45	2.4%	28	1.5%	101	5.5%	230	12.5%	1083	58.7%	100	5.4%	1129	61.2%

「何らかのアレルギー性疾患（現在）」の有症率は全調査都市の合計で39.4%であった。これを北部と南部の2地域に分けると、北部の有症率が30.9%、南部の有症率が46.0%であり、約15%の差が認められる。症状別では、「持続性たん」を除く症状は南部の方が北部よりも有症率が2倍程度と高い。なお、中国北西部（瀋陽市、大連市、鞍山市）で2007年にDongらがATS-DLD問診票を参考にして実施した調査⁹⁾では、持続性せき、持続性たん、喘鳴、喘息の有症率をそれぞれ8.1%、4.2%、3.8%、1.7%と報告しているのに対して、本研究の全調査都市の合計では、それぞれ3.2%、1.7%、3.9%、2.4%となっており、極端な違いは無い。

3.3 居住環境とアレルギー性疾患の関連性の分析

児童のアレルギー性疾患と関連する要因を検討するために多変量ロジスティック回帰分析を実施し、「性別」や「調査都市」などの要因で調整した調整オッズ比^{註2)}（以後、調整OR）と95%信頼区間を算出した。

「気道過敏症」と「花粉症様症状」、「何らかのアレルギー性疾患(現

在)」の「あり・なし」を従属変数、アンケートの質問項目を独立変数とした。分析は全調査都市をまとめた場合のほかに、北部と南部の有症率に地域差が認められたことから、北部と南部の地域ごとの分析も実施し、地域間の特徴の違いも併せて検討した。

はじめに、分析の前段階として単変量解析を行って「症状なし群」に対する「症状あり群」の無調整のオッズ比を算出し、各要因の影響程度を大まかに把握する。次に単変量解析で有意確率 $p < 0.2$ となった要因と「性別」や「調査都市」などの調整要因、「カビの発生」について相関分析を行い、多重共線性^{註3)}の有無を確認し、最終的に分析に用いる変数を絞り込む。以上の前段階を踏まえた上で、変数増加法（尤度比）による分析を実施した。なお、いずれの分析でも「性別」や「調査都市」などの調整要因と、「カビの発生」は回帰式に強制投入している。分析にはIBM® SPSS Statistics Ver.20を用いた。

Table 4に3症状について、全調査都市、北部、南部の計9通りの分析結果をまとめて示す。表には強制投入した「カビの発生」と、

Table 4 Summary of multivariable logistic regression analysis

Items	注4)	All cities			North cities			South cities				
		Bronchial hypersensitivity	Hay fever (inc. similar symptoms)	At least one allergic symptom at present	Bronchial hypersensitivity	Hay fever (inc. similar symptoms)	At least one allergic symptom at present	Bronchial hypersensitivity	Hay fever (inc. similar symptoms)	At least one allergic symptom at present		
Forced entry method	Existence of visible mold	Yes / No	2.19* (1.02-4.73)	1.37 (0.84-2.23)	1.45 (0.90-2.33)	2.07 (0.56-7.65)	0.82 (0.39-1.69)	0.94 (0.47-1.88)	3.01* (1.11-8.14)	1.55 (0.82-2.91)	1.74† (0.96-3.14)	
Factors of chemical effect	Renovation of kitchen and bathroom	Yes / No	/	/	/	4.57* (1.16-18.05)	/	/	/	/	/	
	Replacing of wall material and wallpaper	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	Replacing of floor board	Yes / No	2.73* (1.17-6.37)	/	/	/	/	/	/	/	/	
	Painting of wall and floor	Yes / No	/	2.34** (1.26-4.34)	2.34** (1.26-4.34)	/	/	/	/	2.47* (1.11-5.49)	/	
	Odor of new building materials	Feel / Don't feel	/	2.58** (1.37-4.84)	2.53** (1.33-4.80)	7.58* (1.30-44.20)	/	/	/	/	/	
	Existence of emitting chemicals such as aromatic substance	Living room	Yes / No	2.46* (1.12-5.39)	/	/	/	/	3.02* (1.12-8.18)	/	/	/
		Child room	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	Something located around residence	Main road	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
		Factory	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
		Garbage incinerating facilities	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
High-voltage line	Yes / No	2.81* (1.23-6.41)	/	/	/	/	/	3.35* (1.19-9.37)	2.16* (1.04-4.46)	/		
Forward selection method	Age of building	3-5 years / > 10 years	/	/	/	/	/	3.80* (1.16-12.41)	/	/	/	
		5-10 years / > 10 years	/	/	/	/	/	2.39* (1.08-5.29)	/	/	/	
	Duration of residence	<1 year / Since born	/	/	/	/	10.25** (2.29-45.81)	9.05** (1.82-45.06)	/	/	/	
	Total floor area	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
	Area of living room	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
	Type of window	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
	Material of window sash	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
	Wall finishing materials	Living room	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
		Child room	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	Floor finishing materials	Living room	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Child room		/	/	/	/	/	/	/	/	/		
Dwelling equipment	Type of heating equipment	Child room	/	/	/	/	/	/	/	/		
	Operation period of heating equipment	Child room	/	/	/	/	/	/	/	/		
Existence of cooling equipment in child's room	Yes / No	/	2.08* (1.17-3.69)	2.03* (1.15-3.56)	/	/	/	/	5.79** (1.74-19.21)	3.24* (1.18-8.86)		
Occupant behavior	Pet ownership	Yes / No	/	/	/	/	/	3.43* (1.12-8.18)	/	/	/	
	Frequency of washing bedding	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
	Use of insecticide in closet	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
	Ownership of TV	Living room	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Child room		/	/	/	/	/	/	/	/	/		

Upper stage: Adjusted odds ratio, Lower stage: 95% confidence interval. Adjustment factors: Sex, Type of infantile feeding, Existence of smokers, Resarch cities. p-value †: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.01 Each model: χ^2 test p<0.05, Hosmer-Lemeshow test p>0.05, Precision ratio 61.9%~94.9%

変数増加法により 5%の有意水準を満たして回帰式に組み込まれた要因の調整 OR と 95%信頼区間を示している。また、表中の灰色の塗りつぶしは分析に投入したが棄却された要因を、斜線は前述の単変量解析と多重共線性の有無の確認によって分析から除外された要因を示している。有意な関連が認められた要因はいずれもオッズ比が 1 以上となり、発症リスクを高める要因であることを示唆している。北部と南部の地域ごとの分析では、南部の方が北部よりもカビや化学物質、ペットといったアレルゲンを直接示唆する要因との関連が認められた。なお、「風呂・トイレ・台所以外の換気設備の有無」、「換気設備の運転状況」については、単変量解析で有意確率 $p>0.2$ となったため、多変量解析から除外した。以降では、多変量解析において関連が認められた各要因についての分析結果を詳しく述べる。

(1) カビの発生

カビの発生は、全調査都市をまとめた場合と南部で「気道過敏症」との有意な関連が認められ、調整 OR は全調査都市では 2.19($p<0.05$)、南部では 3.01($p<0.05$)となっている。日本の先行調査でもカビの発生が「気道過敏症」の発症リスクを有意に増加させることを報告⁹⁾しており、先行調査と同様にアレルギー性疾患の発症リスクを増加させることを示唆する結果が得られた。なお、先行調査の調整 OR は 1.71 ($p<0.05$) であり、本調査の調整 OR は先行調査よりも高い値を示している。また、Dong らが中国北西部(瀋陽市、大連市、鞍山市)で行った調査⁹⁾では、「持続性せき」や「喘鳴」、「喘息」に関して、カビの発生による気道過敏症の調整 OR が 1.21~1.69 であることを報告しており、この結果と比べても本調査の調整 OR の方が高い値を示している。

(2) 化学物質による影響を示唆する要因

この要因は、全調査都市をまとめた場合では 3 症状すべてとの有意な関連が認められ、南部では 2 症状、北部では 1 症状との有意な関連が認められた。いずれの分析でも「カビの発生」より調整 OR が大きく、カビよりも化学物質の方が発症リスクをより増大させる可能性を示唆している。リフォームに関する要因の「キッチンや浴室のリフォーム」、「床板の張り替え」、「壁や床のペンキ塗り」についてはリフォーム直後の化学物質への高濃度暴露が、化学物質に過敏に反応する体質を形成したことを示唆している。「新建材臭がする」、「芳香剤などの日用品」は、日常的に化学物質への暴露量が多い環境で生活していることによる影響を示唆している。

(3) その他の要因

高圧電線：全調査都市をまとめた場合と南部において「気道過敏症」との有意な関連が認められた。ただし、高圧電線の存在がアレルギー性疾患に直接影響する可能性は低いと考えられ、高圧電線と共存する他の影響要因が存在していた可能性がある。なお、調査後に行った電話聞き取りによると、回答者が一般的な電線を見て「高圧電線」と回答している場合もあった。

築年数：北部で「何らかのアレルギー性疾患(現在)」との有意な関連

が認められた。新しい住宅の方が化学物質の放散量が多いことや、気密性能が高く、汚染物質が室内に蓄積されやすいことを示唆している。

居住年数：北部で「花粉症様症状」「何らかのアレルギー性疾患(現在)」との有意な関連が認められた。生活環境の変化により生じたストレスによる影響が考えられる。

エアコンの有無：全調査都市と南部で「花粉症様症状」「何らかのアレルギー性疾患(現在)」との有意な関連が認められた。汚染されたフィルターからのカビやハウスダストの放散、窓開け換気の減少などの影響が考えられる。

ペットの有無：南部で「気道過敏症」との有意な関連が認められた。ペットの毛やふけがアレルゲンとして影響を及ぼすことを示唆している。

4. 室内環境の実測調査

4.1 実測調査方法

Table 5 に実測調査の概要を示す。実測調査は冬期と夏期の 2 度の調査を実施している(ハルビンは冬期のみ)。調査対象住宅はアンケート調査を実施した住宅の中から、ケース群^{註⑩}とコントロール群が約半数ずつになるように選定しており、築 1~3 年の住宅から 20 年以上の住宅まで様々な年代の住宅が含まれている。なお、調査住宅の選定と測定は現地の協力大学が実施した。測定項目は温湿度、CO₂ 濃度、真菌濃度、化学物質濃度、PM_{2.5} 濃度であり、CO₂ 濃度以外は居間と子供部屋のそれぞれで測定を行った。温湿度と CO₂ 濃度については、小型データロガーにより約 2 週間の連続測定を実施した。化学物質のうち、気中化学物質濃度はアクティブ法による測定を行い、ダスト中の化学物質(SVOC)濃度は掃除機により捕集したダストから加熱脱着させ、GC/MS に導入して分析を行った。浮遊真菌の捕集は MBS-1000 サンプラ(ミドリ安全製)を用いた。ダスト中の真菌は掃除機により採取したダストを滅菌緩衝液に浸し、攪拌したのちに培地に塗布している。付着真菌は粘着テ

Table 5 Outline of field measurements

	Winter	Summer
Date	2013.1-2013.3 2013.12-2014.1	2013.7-2013.10
Num. of targets	n=68	n=59
	Harbin (10), Beijing (10), Dalian (10), Shanghai (21), Wuhan (7), Changsha (10)	Beijing (10), Dalian (10), Shanghai (19), Wuhan (10), Changsha (10)
Measured items	Temperature and RH (Living room, Child room, Outdoor) CO ₂ (Living room) SVOC in dust (Living room, Child room) Fungi in dust (Living room, Child room) PM _{2.5} (Living room, Child room, Outdoor)	VOCs (Living room, Child room) Airborne fungi (Living room, Child room, Outdoor) Adherent fungi (Living room, Child room)

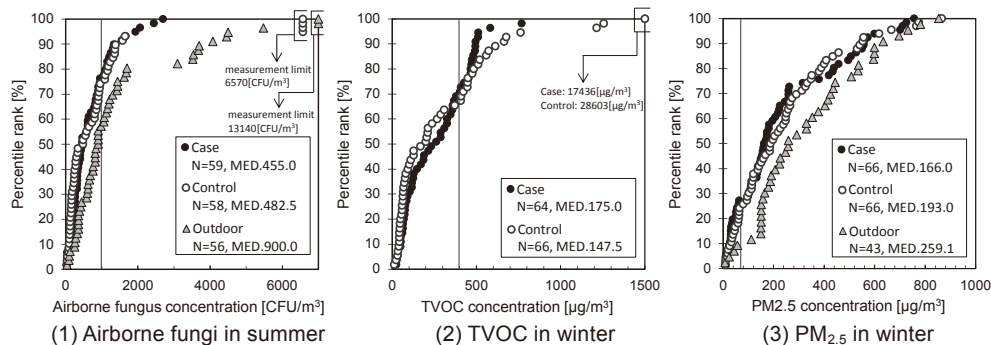


Fig.3 Comparisons between case group and control group (all data of 6 cities)

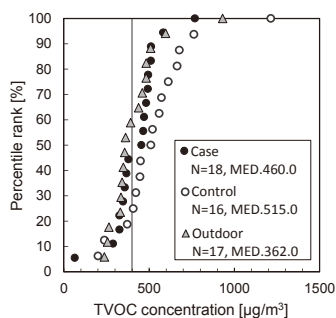
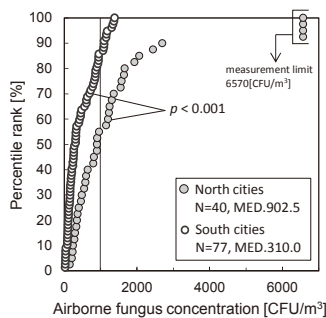
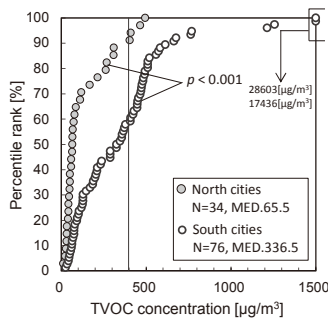


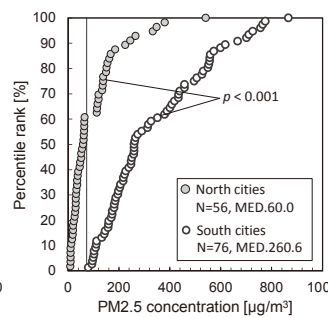
Fig.4 TVOC in winter (Wuhan and Changsha)



(1) Airborne fungi in summer



(2) TVOC in winter



(3) PM_{2.5} in winter

Fig.5 Comparisons between northern cities and southern cities

ープ (3M 社製 Tegaderm・Film) を用いて床面に付着させて採取した。真菌の培養には DG18 培地を用いた。PM_{2.5}濃度は可搬型のエアロゾルモニター (TSI 社製 DustTrak) を用いた。

4.2 ケース群とコントロール群の測定結果の比較

本報では、測定項目のうち浮遊真菌濃度と気中化学物質濃度 (TVOC 濃度)、PM_{2.5}濃度について、高濃度を示した季節の測定結果を示す。Fig.3 に、ケース群とコントロール群の室内濃度および外気濃度に関して、全調査都市の測定結果をまとめたものを示す。なお、ここでは居間と子供部屋の測定値を区別せず、すべての測定値が図中に含まれている。なお、統計的な有意性については、ノンパラメトリック検定の Mann-Whitney の U 検定により検討し、有意確率が $p < 0.05$ となったものを有意な濃度差が認められると判断した。

(1) 夏期浮遊真菌濃度

ケース群・コントロール群間に顕著な濃度差は認められなかった。図中の線は 1000 CFU/m³ を示しており、1000 CFU/m³ を超過した住宅を濃度が高いとみなす。ケース群・コントロール群共に約 25% の住宅が 1000 CFU/m³ を超過していた。また、外気濃度が室内濃度よりも高い傾向が認められた。従って、外から室内に流入した浮遊真菌が室内濃度に対して支配的であるために、ケース群・コントロール群間の室内濃度に差が認められなかったと推測できる。

(2) 冬期 TVOC 濃度

TVOC に関しても、ケース群・コントロール群間に顕著な濃度差は認められなかった。図中の線は厚生労働省の暫定目標値である 400 µg/m³ を示しており、ケース群・コントロール群共に約 30% の住宅が 400 µg/m³ を超過していた。なお、南部の武漢と長沙では当初予定に無かった外気濃度の測定を実施しており、Fig.4 にその測定結果を示す。武漢と長沙では、他の都市に比べて濃度が比較的高く、半数以上の住宅が 400 µg/m³ を超過していた。また、室内濃度は外気濃度と同程度の値を示しており、TVOC 濃度に関しても外気中の TVOC が室内濃度に対して支配的であることが推測できる。

(3) 冬期 PM_{2.5}濃度

PM_{2.5}濃度に関しても、ケース群・コントロール群間に顕著な濃度差は認められなかった。図中の線は中国における大気中の環境基準 (75 µg/m³) を示している。ケース群・コントロール群共に室内濃度は約 70% の住宅が環境基準を超過しており、外気濃度は 90% 以上が超過していた。また外気濃度と室内濃度に顕著な違いは認められず、浮遊真菌濃度・TVOC 濃度と同様の傾向を示していた。

4.3 北部と南部の測定結果の比較

前節より、中国の住宅ではケース群・コントロール群間に測定項目の濃度差は認められず、外気濃度によって室内濃度がおおよそ決定されていることが分かった。そこで北部と南部に有症率の差が認められたことに着目し、北部と南部の 2 地域間の濃度差と有症率の差に関連が認められるかを検討した。なお、統計的な有意性については 4.2 節と同様の手法で検討した。

Fig.5 に北部と南部の 2 地域の室内濃度の比較結果を示す。なお、この比較はケース群とコントロール群を分けずに実施している。夏期の浮遊真菌濃度の測定結果については、北部が南部よりも有意に濃度が高い。これは南部の有症率が北部よりも高いことと対応していない。一方で、冬期の TVOC 濃度と PM_{2.5}濃度の測定結果については、南部の方が北部よりも有意に濃度が高く、南部の有症率が北部よりも高いことと対応している。従って中国の都市部においては、TVOC (VOCs) と PM_{2.5}がアレルギー性疾患の有症率に影響を及ぼしていることが示唆される。

5. 日本の先行調査⁴⁾との比較

5.1 比較の概要

比較した項目は、アレルギー性疾患の有症率と、日本と中国の両方で測定した真菌濃度と化学物質濃度である。真菌濃度と化学物質濃度については、Table 6 に示すように中国の冬期調査と日本の冬期調査、中国の夏期調査と日本の梅雨期・秋期調査とを比較した。なお、日本の調査には戸建て住宅も含まれているが、住宅形式の違いは考慮せずに比較した。また、日本と中国の調査対象住宅の築年数に大きな違いは無く、様々な年代の住宅が含まれている。なお、統計的な有意性については 4.2 節と同様の手法で検討した。

5.2 アレルギー性疾患の有症率の比較結果

Table 3 に示したアレルギー性疾患の有症率を見ると、「何らかのアレルギー性疾患 (現在)」の割合は中国の 30.9%~46.0%に対して

Table 6 Comparisons with previous surveys in Japan

Surveys	
China	Japan
Winter surveys (2013.1-2013.3, 2013.12-2014.1)	Winter surveys (2008.12-2009.2, 2010.2)
Summer surveys (2013.8-2013.10)	Rainy season surveys (2009.7-2009.8) Autumn surveys (2008.11, 2010.10-2010.11)
Items	
Airborne fungi, I/O rate of airborne fungi, Fungi in dust	
Formaldehyde, Acetaldehyde, TVOC, SVOC in dust (DBP, DEHP)	

日本の先行調査では61.2%となっており、日本の方がアレルギー性疾患を有する児童の割合が高い。症状別に見ると「持続性せき」「持続性たん」以外の症状は、日本の方が中国よりも有症率が高い。ただし、この日本の先行調査による有症率は、文部科学省によるアレルギー性疾患の有症率調査¹⁰⁾よりも高いことが分かっており、その

理由の一つとして、協力意思を示した家庭を調査対象としたため、回答者の問題意識が高かったことが指摘⁴⁾されている。今回の中国での調査では、調査協力の意思を問わずに調査を実施しているため、汚染状況の違いだけでなく、このような選択バイアスによる影響を含んでいる可能性も否定できない。

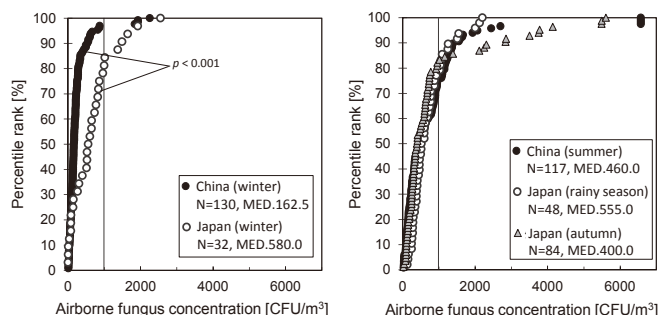


Fig.6 Airborne fungi (left: winter, right: summer)

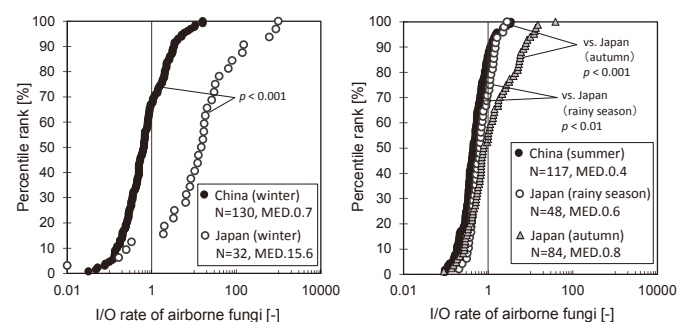


Fig.7 I/O rate of airborne fungi (left: winter, right: summer)

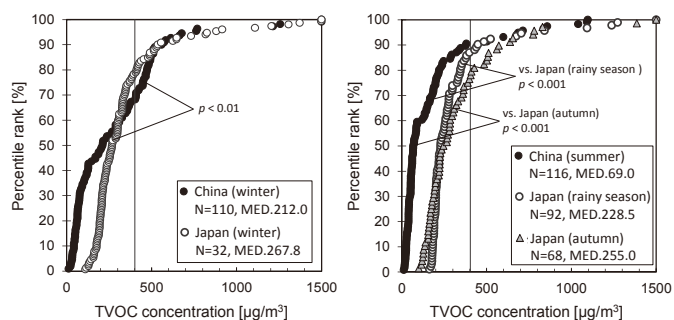


Fig.8 TVOC (left: winter, right: summer)

5.3 浮遊真菌濃度の比較結果

Fig.6 に浮遊真菌濃度の比較結果を示す。日本冬期は中国冬期よりも有意に濃度が高い。一方で日本梅雨期・秋期と中国夏期の間には有意差は認められず、同程度の濃度を示している。Fig.7 に示す浮遊真菌濃度 I/O 比の比較結果を見ると、日本冬期は中国冬期よりも I/O 比が有意に大きい。一方、日本梅雨期・秋期と中国夏期を比較すると有意に日本の方が I/O 比が大きい、中央値はいずれも 1 以下であり、どちらも外気の影響が大きいことが分かる。この比較結果から冬期に室内で真菌が高濃度を示す日本の住宅の方が、中国の住宅より真菌による健康への影響は大きいと推察される。

5.4 TVOC 濃度の比較結果

Fig.8 に TVOC 濃度の比較結果を示す。図中の線は日本の暫定目標値 400 µg/m³ を示している。いずれの比較結果でも日本の方が中国よりも有意に濃度が高い。暫定目標値を超過した住宅の割合に大きな違いは見受けられないが、暫定目標値以下の住宅は日本の方が中国よりも濃度が高く、日本の方が中国よりも有症率が高いことから、長期間の低濃度暴露とアレルギー性疾患との関係性も疑われる。

5.5 比較結果の総括

Table 7 にすべての比較結果を示す。比較した項目の大半で、汚染濃度が日本と中国で同程度、もしくは、日本の方が有意に高いことが分かる。この比較結果は、日本の方が中国よりもアレルギー性疾患の有症率が高いこととも矛盾していない。この比較結果から有症率の差のすべてを説明できるわけではないが、真菌および化学物質の濃度の違いは、日中間の有症率の差の一要因であると考えられる。

6. まとめ

中国都市部において実施したアンケートおよび実測の調査結果と、日本で実施した先行調査の結果との比較により、以下の知見を得た。

1) 中国都市部では有症率に地域差があり、南部の方が北部よりも、

Table 7 Summary of comparisons between surveys in China and Japan

Items	Units	Winter					Summer									
		China		Japan		U-test ^a (p-value)	China		Japan (rainy season)		U-test ^a (p-value)	China		Japan (autumn)		U-test ^a (p-value)
No.	Median	No.	Median	No.	Median		No.	Median	No.	Median		No.	Median	No.	Median	
Airborne fungi (CFU/m ³)																
Total		130	162.5	32	580.0	0.000 ***	117	460.0	48	555.0	0.224	117	460.0	84	400.0	0.740
Cladosporium		130	40.0	32	32.5	0.344	117	240.0	48	185.0	0.631	117	240.0	84	100.0	0.000 ***
Aspergillus		130	40.0	32	107.5	0.005 **	117	40.0	48	10.0	0.000 ***	117	40.0	84	95.0	0.000 ***
Penicillium		130	30.0	32	22.5	0.293	117	70.0	48	25.0	0.000 ***	117	70.0	84	10.0	0.000 ***
I/O rate of airborne fungi (-)																
Total		130	0.7	32	15.6	0.000 ***	117	0.4	48	0.6	0.001 **	117	0.4	84	0.8	0.000 ***
Cladosporium		130	0.5	32	3.6	0.001 **	117	0.4	48	0.5	0.312	117	0.4	84	0.4	0.476
Aspergillus		130	0.5	32	17.8	0.000 ***	117	0.6	48	10.0	0.014 *	117	0.6	84	3.0	0.000 ***
Penicillium		130	0.9	32	5.0	0.036 *	117	0.5	48	1.5	0.000 ***	117	0.5	84	0.5	0.894
Fungi in dust (CFU/mg)																
Total		131	66.0	45	15.4	0.081 †	116	61.5	48	63.2	0.849	116	61.5	84	106.4	0.083 †
VOCs (µg/m ³)																
Formaldehyde		103	10.3	125	12.0	0.310	117	28.8	92	25.9	0.470	117	28.8	68	14.0	0.000 ***
Acetaldehyde		103	8.3	125	44.0	0.000 ***	117	13.7	92	8.9	0.000 ***	117	13.7	68	37.5	0.000 ***
TVOC		110	212.0	125	267.8	0.005 **	116	69.0	92	228.5	0.000 ***	116	69.0	68	255.0	0.000 ***
SVOC in dust (µg/g)																
DBP		129	423.9	48	480.0	0.376	107	179.0	47	890.0	0.000 ***	107	179.0	-	-	-
DEHP		129	752.1	48	1300.0	0.002 **	107	252.0	47	2200.0	0.000 ***	107	252.0	-	-	-

^aMann-Whitney U test. p-value †: p<0.10, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

何らかのアレルギー性疾患を少なくとも1つ有する児童の割合が約15%高かった。

- 2) ロジスティック回帰分析により、アレルギー性疾患とカビや化学物質の影響を示唆する要因との有意な関連が認められた。また、オッズ比の大きさから、カビよりも化学物質による影響が大きい可能性が示された。
- 3) 実測調査結果から、ケース群とコントロール群間の汚染濃度の差は認められなかったが、北部と南部の汚染濃度および有症率の差との対応から、中国都市部ではVOCsとPM_{2.5}がアレルギー性疾患の有症率に影響を及ぼしている可能性が示された。
- 4) 調査対象の選択バイアスの影響を含んでいる可能性もあるが、何らかのアレルギー性疾患を少なくとも1つ有する児童の割合は、中国よりも日本の方が高かった。
- 5) 日本は中国よりも真菌と化学物質による汚染濃度が高かった。この結果は、アレルギー性疾患の有症率の差とも対応しており、真菌や化学物質による汚染濃度が大きいほど、アレルギー性疾患の発症リスクが高くなることを示す1つの傍証になり得る。

謝辞

本研究は、平成24~26年度科研費(課題番号24404019、代表研究者 吉野博)からの助成金を受けて実施された。アンケート調査及び実測調査の実施に当たっては、ハルビン工業大学・劉京教授、北京工業大学・謝静超講師、大連理工大学・呂陽准教授、同済大学・李振海教授、上海交通大学・張会波准教授、華中科技大学・朱晟偉教授、湖南大学・李念平教授に多大なるご協力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) Stephen Montefort et al.: Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhino conjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC Phases One and Three repeat multicounty cross-sectional surveys, *Lancet*, 368, pp.733-743, 2006.8.
- 2) C.G. Bornehag, J. Sundell, T. Sigsgaard: Dampness in buildings and health (DBH): Report from an ongoing epidemiological investigation on the association between indoor environmental factors and health effects among children in Sweden, *Indoor Air* 2004, 14, pp.59-66, 2004.
- 3) K. Naydenov et al.: A comparison between occupants' and inspectors' reports on home dampness and their association with the health of children: The ALLHOME study, *Building and Environment*, 43(11), pp.1840-1849, 2008.11.
- 4) H. Yoshino et al.: Investigation of association between indoor environmental factors and child allergic symptoms -Statistical analysis of influencing factors to child health problems through a

questionnaire survey-, *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*, 79, 695, 107-115, 2014.1 (in Japanese).

吉野博, 他5名: 児童のアレルギー性症状と居住環境要因との関連性に関する調査研究-アンケート調査結果を用いた健康影響要因に関する統計分析-, *日本建築学会環境系論文集*, 79, 695, pp.107-115, 2014.1.

- 5) Guang-Hui Dong et al.: Effects of housing characteristics and home environmental factors on respiratory symptoms of 10,784 elementary school children from northeast China, *Respiration*, 76(1), pp.82-91, 2008.
- 6) J. Sundell et al.: China, Children, Homes, Health (CCHH), *Chinese Science Bulletin*, 58(34), pp.4179-4181, 2013.12.
- 7) Ministry of Construction, China: Thermal design code for civil building GB50176-93, China Planning Press, 1993 (in Chinese). 中国国家技術監督局, 建設部: 民用建築熱工設計規範 GB50176-93, 中国計画出版社, 1993.
- 8) Air Quality Bureau, Ministry of Environment: Report of observational research on health effects of nitrogen oxides and others (1992-1995), 1997 (in Japanese). 環境庁大気保全局: 窒素酸化物等健康影響観察調査報告書(平成4~7年), 1997.
- 9) Architectural Institute of Japan: AIJES-A0002-2013 Standard for design and maintenance on indoor pollution by microbe, 2013.3 (in Japanese). 日本建築学会: 日本建築学会環境基準 AIJES-A0002-2013 微生物汚染に関する設計・維持管理基準・同解説, 2013.3
- 10) Research Committee on Allergic Diseases: Research report on allergic diseases, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2007.3 (in Japanese). アレルギー疾患に関する調査研究委員会: アレルギー疾患に関する調査研究報告書, 文部科学省, 2007.3

注

- 注1) ハルビン: ハルビン工業大学, 北京: 北京工業大学, 大連: 大連理工大学, 上海: 同済大学・上海交通大学, 武漢: 華中科技大学, 長沙: 湖南大学。
- 注2) オッズ比とは、ある事象の起こる確率と起こらない確率の比であるオッズの比を指す。オッズ比が1より大きい小さいかを見ることで、どちらの群で事象が起こりやすいか分かる。
- 注3) 多重共線性とは独立変数間に強い相関がある場合を指し、多重共線性が生じている場合は、分析結果の信頼性が低くなる。本報の分析の場合は単変量解析で有意確率 $p < 0.2$ となった要因のうち、相関係数の絶対値が0.5以上となった2要因については、有意確率の低い方を分析に用いた。
- 注4) 強制投入した「カビの発生」と変数増加法により回帰的に組み込まれた要因についてのみ、オッズ比の分母と分子の内容を示す。
- 注5) いずれの調査都市においても、風呂・トイレ・台所以外の換気設備の有る住宅は全体の1/3程度、それを常時運転する住宅は全体の5%程度にとどまっていた。中国における住宅の換気方法の主流は窓開け換気である。
- 注6) アンケートで判定したアレルギー性疾患について、「何らかのアレルギー性疾患(現在)」に該当する児童が住む住宅をケース群、該当しない児童が住む住宅をコントロール群と定義した。

SURVEY ON ASSOCIATION BETWEEN INDOOR AIR QUALITY OF DWELLINGS
AND CHILDREN'S ALLERGIC DISEASES IN URBAN REGIONS OF CHINA

Hiroshi YOSHINO *¹, *U YANAGI* *², *Toru OTAKE* *³,
Tomonobu GOTO *⁴, *Kenichi HASEGAWA* *⁵ and *Naoki KAGI* *⁶

*¹ President-appointed Extraordinary Prof., Tohoku University, Dr.Eng.

*² Prof., Kogakuin University, Dr.Eng.

*³ Former Grad. Student, Tohoku University

*⁴ Assoc. Prof., Tohoku University, Dr.Eng.

*⁵ Prof., Akita Prefectural University, Dr.Eng.

*⁶ Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

In the last decades, prevalence of children's allergic diseases has been increasing worldwide. Indoor environment is considered to be a possible cause for the children's allergic diseases. In our previous study, questionnaire surveys and field measurements were carried out in Japan to clarify the association between children's allergic diseases and indoor environmental factors. In the present study, almost the same surveys and measurements were carried out in urban areas of China, and the differences between Japan and China were discussed.

The target cities were Harbin, Beijing, Dalian, Shanghai, Wuhan and Changsha. The target subjects were 4th or 5th grade pupils of primary schools, which were the same as the previous study in Japan. The questionnaire surveys were done with cooperation of one or two schools in each city, and the questionnaires were distributed from teachers to pupils. The questionnaire items were about personal attribute, health condition, surrounding environment, dwelling performance, dwelling equipment, indoor environment and occupant behavior. Those were answered by the pupils' parents. The numbers of distributions and respondents were 929 and 916 respectively. From this questionnaire surveys, it was found that the rate of children having "one or more allergic symptoms at present" was 39.4% in all 6 cities total. The rate of southern 3 cities total was approx. 15% higher than that of northern 3 cities total (southern cities: 46.0%, northern cities: 30.9%). In detail, the prevalence rates of continuous sputum, bronchial hypersensitivity, hay fever (incl. similar symptoms) and asthma of the southern cities were twice as much as those of the northern cities. By multivariable logistic regression analysis, it was revealed that several questionnaire items relating to indoor air quality, e.g. "odor of new building materials" and "visible mold", were associated with some children's allergic diseases.

The field measurements were done in both winter and summer. Approx. 10 dwellings, which were selected from the dwellings of the questionnaire survey respondents, were measured in each city. The half of the dwellings was the case group in which a child with allergic diseases lived, and the other half was the control group in which no child with allergic diseases lived. The measured items were indoor temperature, humidity, CO₂, fungi, VOCs and PM_{2.5}. From the field measurements, it was found that there were no differences in concentrations of airborne fungi, TVOCs and PM_{2.5} between the case group and the control group. The reason was because indoor concentrations much depended on outdoor concentrations due to big air change rates by air leakage or natural ventilation. On the other hand, there were the differences in indoor concentrations of TVOC and PM_{2.5} between the southern cities and the northern cities. The concentrations in the southern cities were significantly higher than those in the northern cities, and this fact corresponded to that the prevalence rates in the southern cities were higher than the northern cities. Thus, it was suggested that VOCs and PM_{2.5} are major factors of children's allergic diseases in China.

The results were compared with the previous study in Japan. It was found that the prevalence rates of children's allergic diseases in Japan were higher than those in China, although selection bias might have some influence. Furthermore, it was found that the indoor concentrations of airborne fungi and TVOC in Japan were higher than those in China. These facts seemed to be consistent with each other.

(2017年6月20日原稿受理, 2017年12月4日採用決定)