

(3. 2) PM_{2.5}濃度と気管支喘息児（入院児）のピークフロー値との関連性解析

概要

大気中微小粒子(PM_{2.5})濃度が気管支喘息児のピークフロー値に与える短期的影響を検討した。

対象は、千葉県四街道市の病院に長期にわたって入院している小児喘息患者 17 名（男子 14 名、女子 3 名、8-15 歳）であり、2000 年 10 月 1 日-12 月 24 日の毎日午前 7 時と午後 7 時に病院内で測定されたピークフロー値を解析に用いた。大気中 PM_{2.5}濃度は、病院に近接する大気測定局で連続測定を行った。generalized estimate equation (GEE)を用いて、性別、年齢、身長、気温の影響を調整し、時間帯別にピークフロー値と測定前の PM_{2.5}濃度との関連を解析した。

朝のピークフロー値は、single-pollutant model では、PM_{2.5} の測定前日午前 7 時からの 24 時間平均濃度が 10 µg/m³増加したときの変化量が-2.96 L/min (95% CI: -4.55, -1.37 L/min)であり、有意に低くなった。また、前日午後 4 時から測定時刻まで (0-15 時間前) の PM_{2.5}濃度の 1 時間値が上昇すると朝のピークフロー値が有意に低くなるという関連が観察された。二酸化窒素 (NO₂) 及び光化学オキシダント (Ox) 濃度を共変量に含む multi-pollutant model でも、前日午後 9 時から当日午前 2 時まで (5-10 時間前) の PM_{2.5}濃度とピークフロー値との負の関連は有意であった。

夜のピークフロー値は、single-pollutant model では、PM_{2.5}の前日 19 時からの 24 時間平均濃度が高いと有意に低かった。また、当日午後 4 時から測定時刻まで (0-3 時間前) の PM_{2.5}濃度の 1 時間値が上昇すると夜のピークフロー値の有意な低下が認められた。しかし、multi-pollutant model ではこれらの関連は有意ではなかった。

以上のとおり、午後 4 時以降の大気中 PM_{2.5}濃度の上昇が、当日夜及び翌朝のピークフロー値の低下を引き起こしている可能性が示された。他の汚染物質の影響を考慮しても、朝のピークフロー値と大気中 PM_{2.5}濃度との関連性は有意であった。

1. 背景

微小粒子状物質をはじめとする大気汚染物質の増加が気管支喘息患者の肺機能低下や呼吸器症状の悪化に影響を及ぼすことが数多く報告されている[1-3]。これらの欧米における疫学研究では、大気汚染物質の日平均濃度など、短期間曝露の急性影響について評価したものが多い。一方、わが国では、これまでに大気汚染物質への長期間曝露の慢性影響に関する疫学研究は広く行われてきたが、急性影響を評価した疫学研究は少ない。また、欧米で行われた研究は、大気中粒子状物質の 1 日あるいは日中の平均濃度とエンドポイントとの関連性を評価したものが多く、時間単位の曝露による短期的影響についてはほとんど知られていない。

本研究では、長期入院中の小児気管支喘息患者を対象として、病院内で毎日測定されているピークフロー値と大気中微小粒子状物質(PM_{2.5})濃度の 1 時間値との関連性を検討した。

2. 対象と方法

2.1 対象者

本研究の対象者は、国立療養所下志津病院（千葉県四街道市）に長期間にわたって入院している小児気管支喘息患者のうち、本人及び保護者の書面による同意が得られた者 17 名（男子 14 名、女子 3 名、8~15 歳、平均 11.4 歳）である。

2.2 ピークフロー値の測定方法

対象患者は全員長期間にわたって入院し、気管支喘息の治療を受けながら、病院に隣接する養護学校に通学しており、毎日定期的にピークフロー値の測定を実施している。ピークフロー値の測定は、原則として毎日朝、昼、夜を含む 1 日数回、病棟にて看護師の監視下にスパイロメーターを用いて行われ、測定結果は診療録に記載されている。ただし、昼間は学校の日課により実施されないことがあり、週末に一時外泊する場合なども検査は実施されない。今回は、2000 年 10 月 1 日~12 月 24 日の毎日午前 7 時と午後 7 時に測定されたピークフロー値を診療録より収集した。

2.3 大気環境データ

調査期間中の大気汚染物質濃度は、病院に近接する一般環境大気測定局（四街道鹿渡測定局）において TEOM-1400 (R&P 社製)を用いて PM_{2.5} の連続測定を行った。同時に測定局で測定されている二酸化窒素 (NO₂) 濃度及び光化学オキシダント (Ox) 濃度も用いた。気象関連のデータは、四街道市に隣接する千葉市の気象台で観測されている気温及び湿度を用いた。

2.4 解析方法

同一対象者について繰り返し同一項目の調査や測定を実施した経時観察研究では、繰り返し測定したデータに相関があることから、この相関を考慮した基本的な統計モデルである generalized estimate equation (GEE)を用いて、性別、年齢、身長、気温の影響を調整し、時間帯別にピークフロー測定値と PM_{2.5} の同時刻及び 1~73 時間前の 1 時間値との関連を検討し、PM_{2.5} の 1 時間平均濃度が 10 µg/m³ 増加したときの変化量で示した (single-pollutant model)。また、性別、年齢、身長、気温のほか NO₂ 及び Ox 濃度も共変量とした解析も行った (multi-pollutant model)。

さらに、それぞれの解析モデルで、ピークフロー測定直前までの 24 時間、24~48 時間前の 24 時間及び 48~72 時間前の 24 時間の PM_{2.5} 平均濃度とピークフロー測定値との関連性についても検討した。

3. 結果

解析対象とした測定結果は、午前 7 時 1,198 回 (1 人平均 70.5 回)、午後 7 時 1,176 回 (平均 69.2 回) であった (表 3.3.2-1)。

午前 7 時のピークフロー値の変化量と大気中 PM_{2.5} 濃度との関連を single-pollutant model と multi-pollutant model による解析の結果別に、図 3.3.2-1 及び図 3.3.2-2 に示した。結果は、3 日前の午前 7 時からの 24 時間、2 日前の午前 7 時からの 24 時間及び前日の午前 7 時からの 24 時間の PM_{2.5} の平均濃度がそれぞれ 10 µg/m³ 増加したときの午前 7 時のピークフロー値変化量を示した (図 3.3.2-1(a)及び図 3.3.2-2(a))。また、前日の午前 7-8 時の 1 時間値 (図中には『前日 8 時』と表記) から当日の午前 6-7 時の 1 時間値までの PM_{2.5} 濃度がそれぞれ 10 µg/m³ 増加したときの午前 7 時のピークフロー値変化量を 1 時間ごとに示した (図 3.3.2-1(b)及び図 3.3.2-2(b))。さらに、3 日前の午前 6-7 時の 1 時間値 (図中には『3 日前 7 時』と表記) から当日の午前 6-7 時の 1 時間値までの PM_{2.5} 濃度がそれぞれ 10 µg/m³ 増加したときの変化量を 6 時間ごとに示した (図 3.3.2-1(c) 及び図 3.3.2-2(c))。

single-pollutant model による解析では、PM_{2.5} の 24 時間平均濃度が高いとピークフロー値が有意に低くなる関連性が 3 日間ともに観察された (図 3.3.2-1(a))。前日午前 7 時からの PM_{2.5} の 24 時間平均濃度が 10 µg/m³ 増加したときのピークフロー値の変化は、-2.96 L/min (95% CI: -4.55, -1.37 L/min)であった。また、午前 7 時に測定されたピークフロー値は、前日の午後 4 時から測定時刻まで (0~15 時間前) の大気中 PM_{2.5} 濃度の 1 時間値の上昇によって有意な低下が観察された (図 3.3.2-1(b))。さらに、3 日前の午後 7 時から 2 日前の午前 7 時 (60~48 時間前)、2 日前の午後 7 時から前日の午前 7 時 (36~24 時間前) までの大気中 PM_{2.5} 濃度の 1 時間値の上昇によっても午前 7 時のピークフロー値の有意な低下が認められた (図 3.3.2-1(c))。ピークフロー値測定前日 23 時から当日午前 0 時までの PM_{2.5} 1 時間値との関連が最大であり、10 µg/m³ 増加あたりのピークフロー値の変化は、-3.39 L/min (95% CI: -4.31, -2.46 L/min)であった。前日午後 9 時から当日午前 2 時まで (5~10 時間前) の PM_{2.5} 濃度の 1 時間値の上昇とピークフロー値の低下との関連は、multi-pollutant model で解析してもなお有意な関連性が残った。

同様に、午後 7 時のピークフロー値の変化量と大気中 PM_{2.5} 濃度との関連を図 3.3.2-3 及び図 3.3.2-4 に示した。single-pollutant model による解析では、午後 7 時のピークフロー値は、前日 19 時からの 24 時間の PM_{2.5} 平均濃度が高いと有意に低くなる関連性が観察されたが、2 日前、3 日前の 24 時間平均濃度との関連はみられなかった (図 3.3.2-3(a))。また、当日午後 4 時から測定時刻まで (0~3 時間前) の大気中 PM_{2.5} 濃度の 1 時間値の上昇により午後 7 時に測定されたピークフロー値の有意な低下が認められた (図 3.3.2-3(b))。また、2 日前の午前 7 時 (36 時間前)、前日の午後 7 時 (24 時間前) の大気中 PM_{2.5} 濃度の 1 時間値の上昇によっても午後 7 時のピークフ

ロー値の有意な低下が認められた（図 3.3.2-3(c)）。測定当日午後 4 時から 5 時までの PM_{2.5}1 時間値との関連が最大であり、10 µg/m³ 増加あたりのピークフロー値の変化は、-2.53 L/min (95% CI: -3.94, -1.12 L/min)であった。しかし、single-pollutant model で有意にみられた PM_{2.5}濃度とピークフロー値の低下との関連は、multi-pollutant model による解析では有意ではなかった（図 3.3.2-4）。

4. 考察

気管支喘息児が毎日定期的に測定を行っているピークフロー値と大気中粒子状物質との関係を検討した。今回の調査の対象者は全員比較的重症の気管支喘息児であり、長期間にわたって病院に入院しており、いずれも吸入ステロイド薬を含む喘息の治療を継続して受けている。それにもかかわらず、single-pollutant model による解析において、午後 4 時以降の大気中 PM_{2.5}濃度の上昇が、当日午後 7 時及び翌日午前 7 時のピークフロー値の低下と有意に関連していることが示された。午前 7 時のピークフロー値は、前日の午後 4 時以降測定時までの長時間にわたる PM_{2.5}濃度との関連が認められたのに対して、午後 7 時のピークフロー値は当日の午後 4 時以降測定時までの比較的短時間の PM_{2.5}濃度との関連が認められたのみであったが、いずれも午後 4 時以降の PM_{2.5}濃度の増加による影響が示唆された。

喘息児を対象として、大気中粒子状物質がピークフロー値の変動に及ぼす短期的影響を評価した研究はこれまでに数多く行われている。メキシコシティで 71 名の喘息児（5～7 歳）を対象に行われた研究では、夜間に測定されたピークフロー値の変化は PM_{2.5}濃度 25 µg/m³ 増加あたり -4.27 L/min [95% CI: -7.12, -0.85 L/min]であった[4]。また、同じくメキシコシティで 65 名を対象とした研究では、朝及び夜のピークフロー値はオゾン濃度との間に有意な負の関連があったことが示されているが、PM₁₀濃度との関連は有意ではなかった[5]。ただし、この研究では PM_{2.5}濃度との関連は検討されていない。

今回観察された PM_{2.5}濃度の増加によるピークフロー値の変化量は、24 時間平均濃度が 10 µg/m³ 増加あたり午前 7 時には最大 -2.96 L/min、午後 7 時には最大 -2.89 L/min であった。また、1 時間平均濃度との関連では、10 µg/m³ 増加あたりのピークフロー値の変化量は、午前 7 時の測定値では最大 -3.39 L/min、午後 7 時の測定値では最大 -2.53 L/min であった。これらの変化量は、いずれも先行研究で観察された変化量よりもかなり大きかった。これは、今回の研究では、病棟に設置されたスパイロメーターを用いて、毎日定められた時刻に看護師の監視下でピークフロー値が測定されたために、検査日時、測定結果を正確に把握することができたこと、また、PM_{2.5}濃度は 1 時間ごとに測定値が得られ、ピークフロー値との時間的関係を従来よりも正しく評価することができたことによると考えられる。

大気中 PM_{2.5}濃度は、調査期間中に病院に近接する大気測定局で測定された値を用いた。今回の対象者は全員長期間にわたって病院に入院し、病院に隣接する養護学校に通学していることから、大気汚染物質への曝露量はほぼ均一とみなすことができる。

PM_{2.5}濃度の増加によるピークフロー値の変化量は午後 7 時よりも午前 7 時のほうが大きかった。また、multi-pollutant model でも、午前 7 時のピークフロー値は 5～10 時間前の PM_{2.5}濃度との関連が有意であったが、午後 7 時のピークフロー値と PM_{2.5}濃度との関連は有意ではなかった。先行研究でも粒子状物質濃度の増加によるピークフロー値の低下は就寝前よりも起床時のほうが大きいとしたものがある[1, 2]。夜間のピークフロー値は、日中の学校や家庭における活動など、大気汚染以外の因子の影響が大きいと考えられる。今回は長期にわたって入院している患者を対象としたため、日常生活行動は比較的均質であると思われるが、養護学校での活動や外出時間などの違いが午後 7 時のピークフロー値に影響する可能性は否定できない。一方、夕方以降は対象者全員が原則として病院内で過ごしているため、午前 7 時のピークフロー値には不安定な因子の影響が小さく、大気中 PM_{2.5}濃度との関連が大きかったと考えられる。

5. 結論

長期にわたって入院治療中の気管支喘息児において、午後 4 時以降の大気中 PM_{2.5}濃度の上昇と当日午後 7 時及び翌朝午前 7 時のピークフロー値の低下との関連性が示された。他の汚染物質の影

響を考慮しても、午前7時のピークフロー値は前日午後9時から当日午前2時までの大気中PM_{2.5}濃度との関連性が有意であった。

参考文献

- 1 Vedal S, Petkau J, White R, Blair J. Acute effects of ambient inhalable particles in asthmatic and nonasthmatic children. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:1034-43.
- 2 Just J, Segala C, Sahraoui F, Priol G, Grimfeld A, Neukirch F. Short-term health effects of particulate and photochemical air pollution in asthmatic children. *Eur Respir J* 2002;20:899-906.
- 3 Delfino RJ, Quintana PJ, Floro J, Gastanaga VM, Samimi BS, Kleinman MT, Liu LJ, Bufalino C, Wu CF, McLaren CE. Association of FEV1 in asthmatic children with personal and microenvironmental exposure to airborne particulate matter. *Environ Health Perspect* 2004; 112: 932-941.
- 4 Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Siembra JJ, Huerta J, White MC, Etzel RA. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;154:300-7.
- 5 Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Huerta J, Siembra JJ, White M, Etzel R, Hernandez M. Effects of intermittent ozone exposure on peak expiratory flow and respiratory symptoms among asthmatic children in Mexico City. *Arch Environ Health* 1997;52:368-76.

表 3.3.2-1 対象者の性別ピークフロー測定回数とピークフロー値

	男子 (n=14)	女子 (n=3)	合計 (n=17)
平均年齢 (歳)	11.4	11.3	11.4
ピークフロー合計測定回数			
午前7時	982	216	1198
午後7時	964	212	1176
ピークフロー測定回数 (平均)			
午前7時	70.1	72.0	70.5
午後7時	68.9	70.7	69.2
ピークフロー値 (L/min)			
午前7時 平均 (標準偏差)	318.9 (99.6)	293.4 (51.2)	314.4 (92.1)
平均値のレンジ	189.1-503.7	241.7-344.1	189.1-503.7
午後7時 平均 (標準偏差)	334.4 (101.9)	300.8 (57.4)	328.5 (95.0)
平均値のレンジ	200.7-521.0	246.2-360.6	200.7-521.0

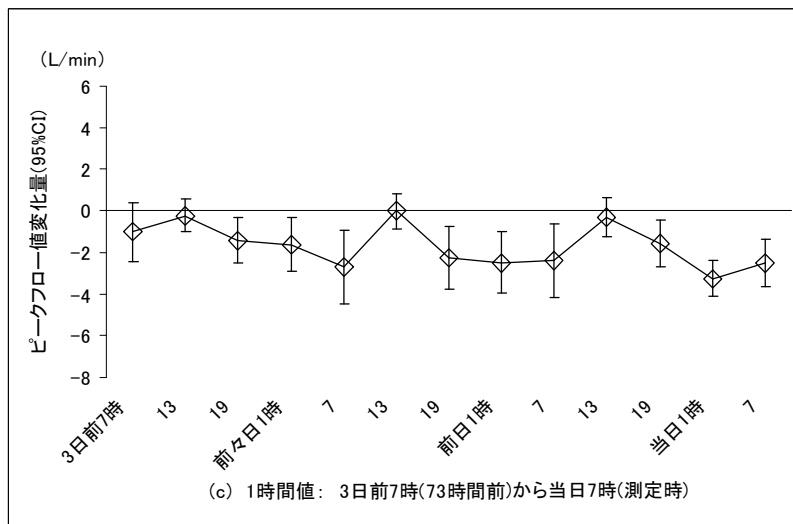
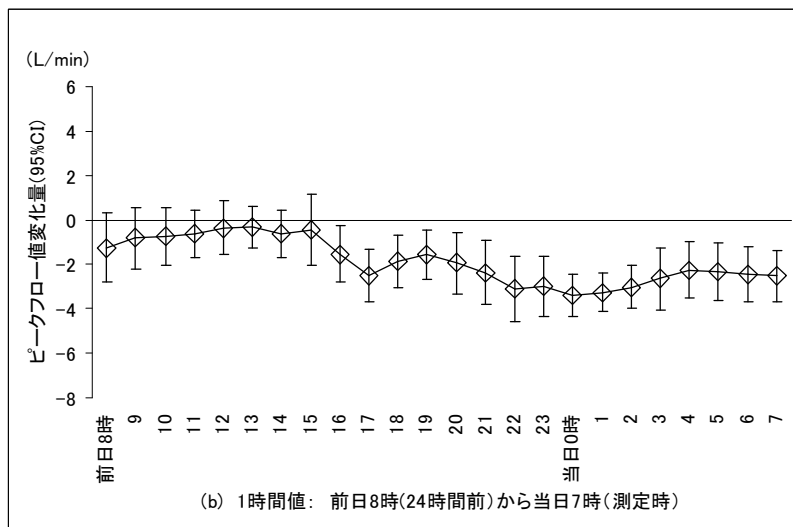
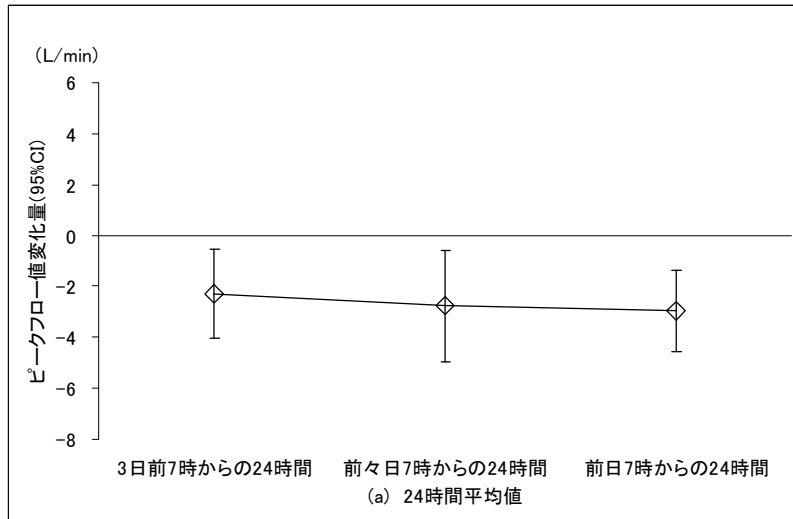


図 3.3.2-1 PM_{2.5}濃度 10 μg/m³増加あたりのピークフロー値変化量（午前7時）single-pollutant model により、性別、年齢、身長及び気温で調整して解析

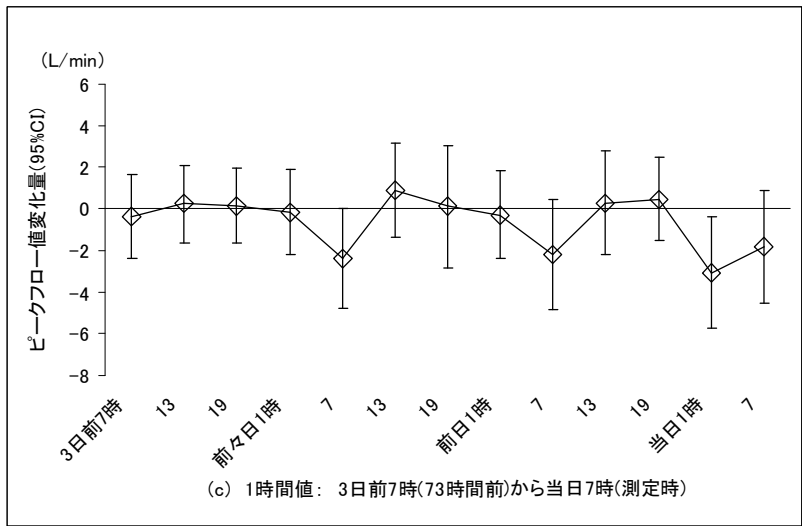
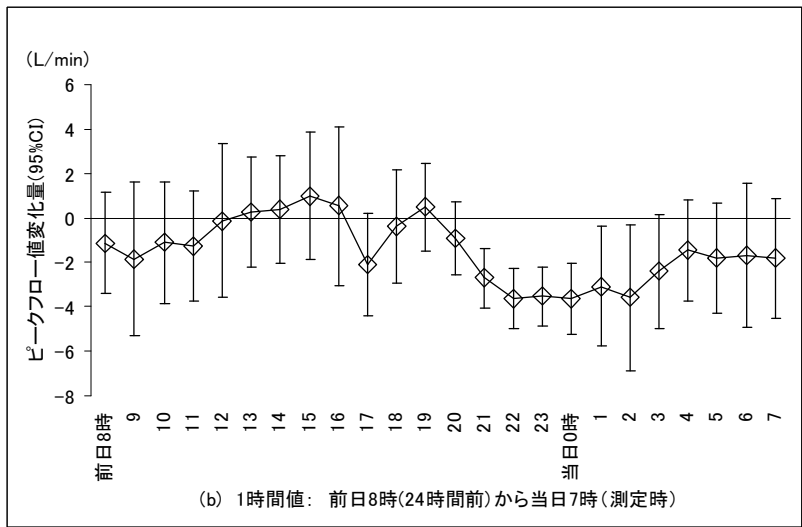
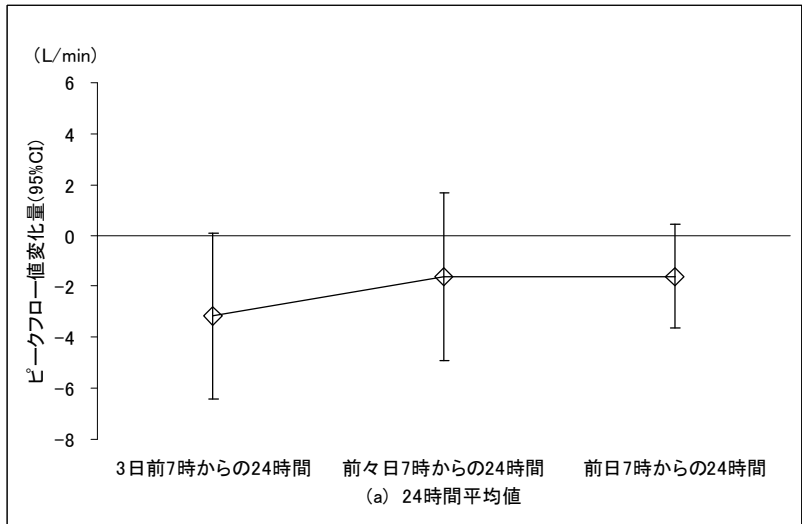


図 3.3.2-2 PM_{2.5} 濃度 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加あたりのピークフロー値変化量 (午前7時) multi-pollutant model により NO₂ 及び Ox を共変量に含め、さらに、性別、年齢、身長及び気温で調整して解析

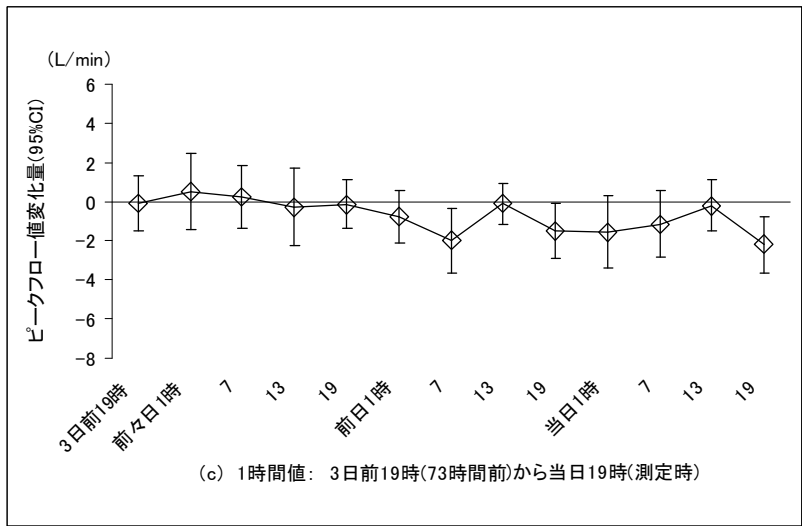
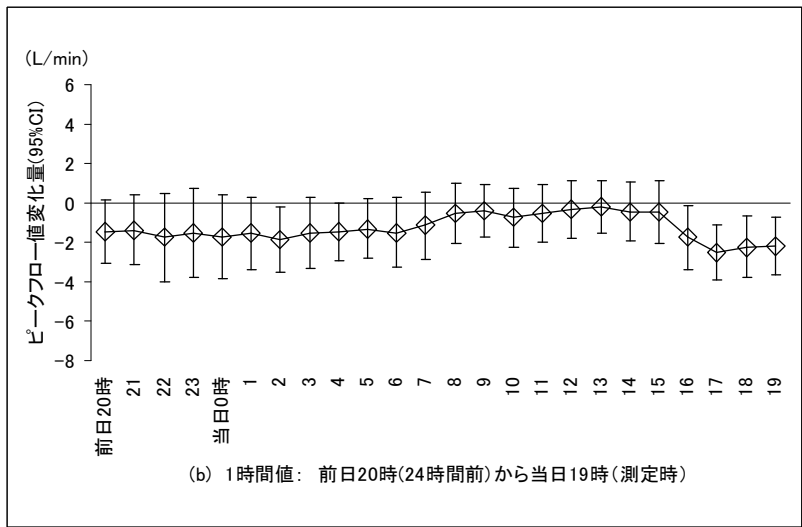
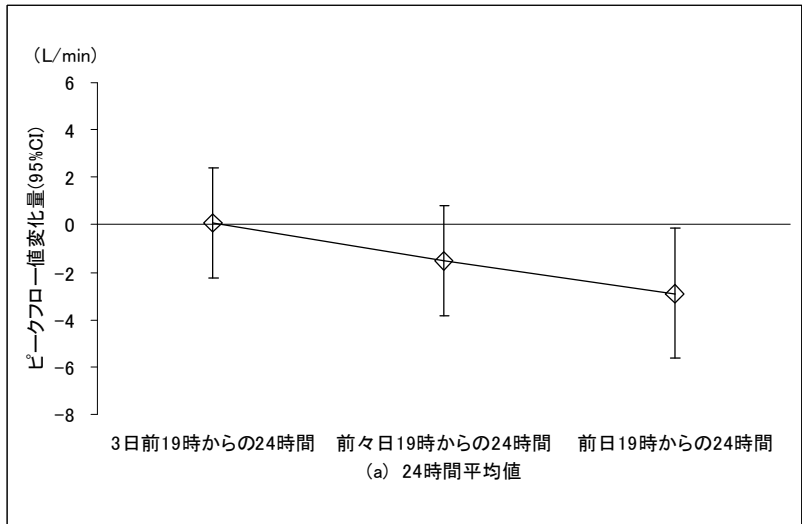


図 3.3.2-3 PM_{2.5}濃度 10 μg/m³増加あたりのピークフロー値変化量 (午後7時) single-pollutant model により、性別、年齢、身長及び気温で調整して解析

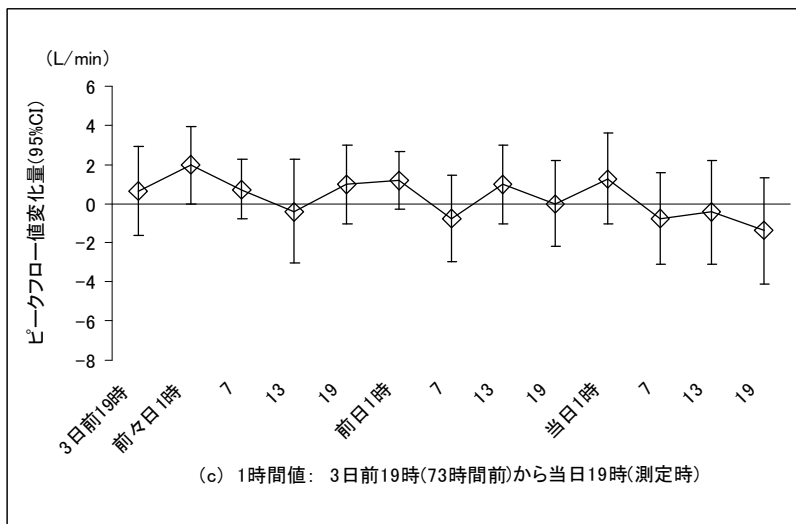
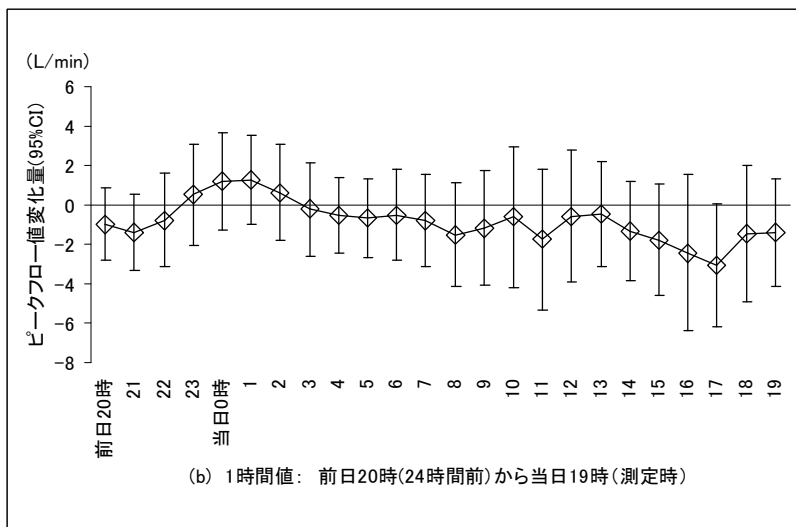
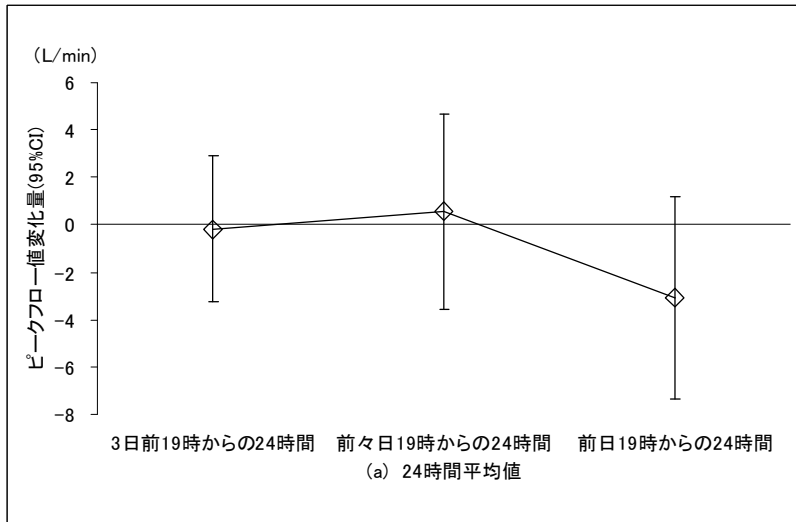


図 3.3.2-4 PM_{2.5}濃度 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加あたりのピークフロー値変化量 (午後7時)
 multi-pollutant model により NO₂ 及び Ox を共変量に含め、さらに、性別、
 年齢、身長及び気温で調整して解析

(3. 3) 粒子状物質濃度と喘息患児（通院児）のピークフロー値との関連性解析

概要

大気中の粒子状物質濃度と呼吸機能との関連性を、喘息患児を対象としたパネルスタディにより検討した。

福岡市南区に所在する国立療養所南福岡病院（現、国立病院機構福岡病院）で喘息の治療を受け、かつ、病院内の水泳教室に通う4歳から11歳までの小児とした。対象者は2002年4月1日から2003年3月31日までの間、毎日起床時と就寝前の1日2回、ピークフローメーターを用いてピークフロー値の自己測定を実施した。環境大気濃度は、福岡市南区の一般大気測定局（南測定局）で時間単位に測定された浮遊粒子状物質(suspended particulate matter, SPM)、二酸化窒素(NO₂)及び光化学オキシダント(Ox)のデータを用いた。SPM 単位変化量とピークフロー値変化量との関連性を **generalized estimate equation** により解析した。解析モデルに含めた調整変数としては、年齢、性別、身長、小児の成長因子（2002年4月からの経過月数）及び気温とした。温暖期（4-9月）・寒冷期（10-3月）別、起床時・就寝前別に4区分し、それぞれ解析した。

調査対象となった患児70人のうち、44%は男子であり、70%は7歳以下であった。365日間の調査期間の中で測定回数は、起床時はのべ16,158回、就寝時はのべ15,240回であった。温暖期の起床時においては、**single-pollutant model** では、当日8時からそれ以前の24時間平均SPM濃度並びに当日5~8時、当日2~5時、前日23時~当日2時、前日20~23時、前日17~20時及び前日5~8時の各3時間平均SPM濃度とピークフロー値に有意な負の関連がみられた。すなわち、SPM濃度が高いとピークフロー値が低いという関連性がみられた。この有意な関連性の中で、当日2~5時、前日23~2時、前日20~23時及び前日5~8時については、**multi-pollutant model** においても同様に各3時間平均SPM濃度が高いとピークフロー値が低いという有意な関連がみられた。一方、温暖期の就寝時や寒冷期の起床時及び就寝時においては、**single-pollutant model** と **multi-pollutant model** で一貫した有意な関連性は認められなかった。なお、2001年に8760回(365日×24時間)南福岡病院で測定されたSPM濃度とPM_{2.5}濃度に対するPearsonの相関係数は0.8であった。

以上のとおり、喘息患児のピークフロー値は、大気中のSPM濃度の3時間平均値と関連しており、SPM濃度が高いと、その後測定したピークフロー値が有意に低いことが示された。この関連性は温暖期の起床時においてのみ認められ、温暖期の就寝時や寒冷期の起床時及び就寝時では一貫した有意な関連性は認められなかった。

1. 背景

大気中の粒子状物質と小児の喘息、呼吸器症状あるいは呼吸機能との関連性は多くの先行研究で示されてきた[1-15]。粒子状物質濃度が高いときに呼吸機能の低下がみられることは概ね一致した結果であるが、呼吸機能を測定した時間帯別にみると、粒子状物質と呼吸機能との関連性は、一貫した結果が得られていない。この理由としては、対象者の感受性の違いや対象地域の季節及び時間帯による大気汚染の組成の違いなど様々な要因が影響しているものと考えられる。実験研究では、微小粒子を吸入後数時間以内に体内に変化が現れる可能性を示している[16-18]。しかし、ほとんどの先行の疫学研究においては、曝露時間帯を日平均あるいは日中平均（例えば、6時から21時まで）として、呼吸機能との関連性を評価しており、大気汚染濃度の時間単位の曝露と呼吸機能との関連性を評価した研究はほとんどない。

そこで、本研究では、時間単位に測定された大気中の粒子状物質濃度と呼吸機能との関連性を、喘息患児を対象としたパネルスタディにより検討した。

2. 方法

2.1 対象者と呼吸機能の測定方法

対象者は、福岡市南区に所在する国立療養所南福岡病院（現、国立病院機構福岡病院）で喘息の治療を受け、かつ、病院内の水泳教室に通う4歳から11歳までの小児とした。

呼吸機能としてピークフロー値を測定した。ピークフロー値の測定はクレメント・クラーク社製

ミニライト・ピークフローメーター(ピークフロースパイロメータ)を使用した。研究参加者は2002年4月1日から2003年3月31日までの間、ピークフロー値を日に2回、起床後と就寝前に測定した。事前に、保護者と対象児に対して、ピークフロー値測定器の使い方を説明し習熟させた。

2.2 大気データ

2002年4月から2003年3月の期間中に、福岡市南区の一般大気測定局(南測定局)で時間単位に測定された浮遊粒子状物質(suspended particulate matter, SPM)、窒素酸化物(NO₂)及び光化学オキシダント(Ox)のデータを用いた。福岡市における時間単位の気象データは、日本気象協会から得た。大気汚染濃度の3時間平均値を計算し、これを曝露因子として扱った。また、2001年4月から2002年3月まで南福岡病院及び近隣のT病院でTEOM-1400(R&P社製)により測定されたPM_{2.5}データと南測定局でのSPMデータの比較を行った。

2.3 解析方法

同一対象者について繰り返し同一項目の調査や測定を実施した経時観察研究では、繰り返し測定したデータに相関があることから、この相関を考慮した基本的な統計モデルである generalized estimate equation (GEE)を用いて、SPM単位増加量とピークフロー値変化量との関連性を検討した。モデルに含めた調整変数としては、年齢、性別、身長、小児の成長因子(2002年4月からの経過月数)及び気温とし、SPM以外の共存大気汚染物質(Ox及びNO₂)を共変量としてモデルに含めた場合(multi-pollutant model)と含めない場合(single-pollutant model)それぞれについて解析を行った。これらの2つの解析モデルについて、調査時期とピークフロー値の測定時間帯(起床時及び就寝時)の影響を考慮して、起床時と就寝時のサブグループ及び温暖期(4~9月)と寒冷期(10~3月)のサブグループに分けて、それぞれ解析した。解析モデル中の気温については、起床時のサブグループを解析する場合は午前8時の測定値を、就寝時のサブグループを解析する場合は午後10時の測定値を共変量とした。解析では、起床時についてはピークフロー値測定当日、前日及び前々日の朝8時までの24時間平均濃度及び3時間平均濃度、就寝時についてはピークフロー値測定と当日、前日及び前々日の夜19時までの24時間平均濃度及び3時間平均濃度の各濃度とピークフロー値との関連性をsingle-pollutant modelとmulti-pollutant modelにより解析した。

なお、single-pollutant model及びmulti-pollutant modelともに、SPMの単位変化量を10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ としてピークフロー値の変化量を求めた。同様に、multi-pollutant modelにおけるNO₂及びOxの単位変化量はともに10ppbとした。検定は全て両側検定で有意水準を5%とした。解析には、SAS release 8.2(SAS社(Cary, NC, USA))のGENMODプロシジャを用いた。

3. 結果

対象者の属性を表3.3.3-1に示した。調査対象者は70人であった。70人のうち、63%は男子であり、70%は7歳以下であった。365日間の調査期間の中で測定回数は、起床時はのべ16,158回、就寝時はのべ15,240回であった。対象者のピークフロー値測定値の平均値、最大値及び最小値を図3.3.3-1に示した。表3.3.3-2は、調査期間中の午前5時から8時及び午後7時から10時における3時間平均値の大気汚染濃度である。SPMの最大値は午前5~8時で160.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、午後7~10時で211.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。表3.3.3-3は温暖期と寒冷期別の大気汚染濃度(1時間測定値)に関する相関表である。SPMとOxの相関は、温暖期では起床時及び就寝時それぞれ0.092及び0.203、寒冷期ではそれぞれ-0.213及び-0.098であった。

表3.3.3-4に、温暖期(4~9月)の起床時に測定したピークフロー値と当日、前日及び前々日の朝8時までの24時間平均大気汚染濃度並びに3時間平均濃度との関連を示した。single-pollutant modelでは、当日8時までの24時間平均SPM濃度並びに当日5~8時、当日2~5時、前日23時~当日2時、前日20~23時、前日17~20時及び前日5~8時の各3時間平均SPM濃度が高いと起床時のピークフロー値が低いという有意な関連性がみられた。さらに、この有意な関連性の中で、当日2~5時、前日23~当日2時、前日20~23時及び前日5~8時の各3時間平均SPM濃度は、multi-pollutant modelにおいても同様に有意な関連がみられた。なお、Oxについては、前々日朝8時からそれ以前の24時間平均濃度が高いと起床時ピークフロー値が有意に低下するという

関連性がみられた。

表 3.3.3-5 に、温暖期(4~9 月)の就寝時に測定したピークフロー値と、当日、前日及び前々日の夜 19 時までの 24 時間平均大気汚染濃度並びに 3 時間平均濃度との関連を示した。single-pollutant model では、前日 22 時~1 時の 3 時間平均 SPM 濃度が高いと就寝時ピークフロー値が低い有意な関連がみられたが、multi-pollutant model においては有意な関連性はみられなかった。

表 3.3.3-6 は、寒冷期(10~3 月)の起床時に測定したピークフロー値と、当日、前日及び前々日の朝 8 時までの 24 時間平均大気汚染濃度並びに 3 時間平均濃度との関連を示した。single-pollutant model では、前日 8 時までの 24 時間平均 SPM 濃度並びに前日 14~17 時、前日 11~14 時、前日 8~11 時及び前日 5~8 時の各 3 時間平均 SPM 濃度が高いと起床時ピークフロー値が高いという有意な関連性がみられたが、この関連性は、multi-pollutant model により解析すると全てみられなくなった。なお、NO₂については、前日 17~20 時の 3 時間平均濃度が高いと就寝時ピークフロー値が高いという関連性があった。

表 3.3.3-7 は、寒冷期(10~3 月)の就寝時に測定したピークフロー値と、当日、前日及び前々日の夜 19 時からそれ以前の 24 時間平均大気汚染濃度並びに 3 時間平均濃度との関連を示した。SPM と就寝時ピークフロー値との関連性は、single-pollutant model、multi-pollutant model ともに有意な関連性は認められなかった。なお、NO₂については、当日 7~10 時の 3 時間平均濃度が高いと就寝時のピークフロー値が高いという正の関連性があった。

4. 考察

本研究では、病院内の水泳教室に通う喘息患児を調査の対象としたが、水泳は気温及び湿度とも高い環境で行う運動であり、喘息患児にとって運動誘発性喘息の起こりにくい状況下での鍛錬と考えられている。それ故、本研究の対象者は、一般の喘息患児と比較し、呼吸機能の鍛錬がなされており、喘息の発作は起こりにくいものと考えられる。このような患児を対象とした研究において、温暖期における起床時のピークフロー値について、朝方の時間帯に測定した SPM の 3 時間平均値が増加した日では、その日の起床時のピークフロー値は低くなるという関連性を示した。この関連性は寒冷期では観察されなかった。就寝時においては、有意な関連は認められなかったが、その効果の方向は起床時と同様であった。

また、SPM 以外の大気汚染物質では、O_xについては、温暖期において前々日の 24 時間平均 O_x 濃度が高いと起床時ピークフロー値が低い関連性がみられた。また、NO₂については、前日 17~20 時の 3 時間平均 NO₂ 濃度が高いと翌朝の起床時ピークフロー値が高く、また当日 7~10 時の 3 時間平均 NO₂ 濃度が高いと当日の就寝時ピークフロー値が高いという、これまでの研究仮説（大気汚染濃度が高まるとピークフロー値が低くなるという仮説）とは逆の関連性がみられた。

欧米における多くの先行研究から、粒子状物質の健康影響は、粒径が小さいほど毒性が強い可能性があることを示している[19]。そこで、SPM と PM_{2.5} の 1 時間値の相関について、調査対象病院の近隣のデータを用いて評価した。評価期間は、2001 年 1 月 1 日~2001 年 12 月 31 日であった。PM_{2.5} の測定場所は福岡市城南区にある T 医院及び福岡市南区の国立療養所南福岡病院の 2 箇所、SPM の測定場所は本研究で大気汚染濃度の測定を行った福岡市南区の一般環境大気測定局（一般局）であった。一般局と南福岡病院の距離は 4.7km、一般局と T 医院の距離は 5.3km、南福岡病院と T 医院の距離は 4.2km であった。測定したサンプル数は 8760 回(365 日×24 時間)であった。これらの測定値は、一般局で測定した SPM と 2 地点で測定した PM_{2.5} のいずれの項目も欠測は 5% 未満であった。Pearson の相関係数を求めたところ、T 医院で測定された PM_{2.5} と一般局の SPM の相関は 0.78、南福岡病院で測定された PM_{2.5} と一般局の SPM の相関は 0.80 であった。また、SPM と PM_{2.5} との濃度比は 0.64 であった。

喘息患児あるいは一般児童を対象とした先行研究における知見は概ね一致している。夏季にメキシコ市で実施された 65 人の喘息患児を対象とした Romieu ら[7]の研究では、PM₁₀ の 24 時間平均濃度の単位変量 20 µg/m³ ごとに、起床時及び就寝時のピークフロー値がそれぞれ、-1.37L/min (95%CI = -3.27, 0.53)、及び、-0.53L/min (95%CI = -2.73, 1.67)低くなることを示した。一方で、夏季に 108 名の一般児童（非喘息患児）を対象とした米国ペンシルバニア州ステートカレッジ市で実施された Neas ら[3]の研究では、PM_{2.1} の 24 時間平均濃度の単位変量 20µg/m³ ごとに、就寝時

のピークフロー値は $-0.44\text{L}/\text{min}$ (95%CI = $-1.38, 0.50$)低くなることを示した。研究間で粒子状物質の化学組成が異なっているにも関わらず、PM₁₀に関連したピークフロー値の低下は概ね似たような値となっていた。これらの先行研究においては、大気汚染物質間の相関が高かったため、それぞれのピークフロー値への独立の影響を検討することはできなかった。しかし、本研究では、SPMとOxの相関は、温暖期及び寒冷期ともに低かった(表 3.3.3-3)。それゆえ、SPMとOxを同一モデルに同時に共変量として含めて解析しても、多重共線性の影響を受けることは小さいものと考えられた。そして、本研究ではOxとは独立に、温暖期においてSPM濃度とピークフロー値の低下との関連が観察され、その傾向は起床時に顕著であった。

起床時のピークフロー値は就寝時のピークフロー値よりもSPMの影響との関連が強くなるのか、明確に示すことはできない。先行研究においても、就寝時と起床時では、どちらで大気汚染濃度との関連が強くなるのか、はっきりとした傾向は出ていない。Tiittanenら[12]、Romieuら[7]及びRoemerら[1]は、就寝時ピークフロー値よりも起床時ピークフロー値のほうが粒子状物質濃度の増加に関連したピークフロー値の低下幅が大きいことを示した。一方で、Roemerら[8]は起床時のピークフロー値よりも就寝時のピークフロー値のほうが、粒子状物質濃度の増加に関連した低下幅が大きいことを示した。就寝時よりも起床時のほうが、粒子状物質濃度の増加に関連した低下幅が大きくなることの考えられる理由としては、就寝時は実際に測定した時間帯に幅があるのに対し、起床時の測定時間帯は狭いことが予想され、それゆえ、曝露と測定時間のタイムラグの誤分類が起床時では小さいことが考えられた。また、就寝時には病態と関連する学校や家庭における日常活動や、日中の服薬状態など不特定な因子の関与が多く、大気汚染物質と病態との関連性を検討する際に、多くの不安定要因の影響を受けやすいことが考えられる。従って、就寝時よりも起床時で粒子状物質濃度とピークフロー値の関連性が認められやすいものと推測される。

また、本研究では、温暖期ではSPMとピークフロー値の有意な負の関連性が認められたが、寒冷期ではsingle-pollutant modelで正の関連性が認められた。ただし、この正の関連性は、multi-pollutant modelにより解析すると失われてしまう不安定な関連であった。温暖期と寒冷期では、室内環境や大気環境などの生活環境が異なり、未測定の交絡要因がある可能性を示唆した。

なお、本研究ではピークフロー値測定時刻を記録しなかったため、曝露からピークフロー値測定時間までのタイムラグを正確に把握することができなかった。また、対象者は喘息患児であるが、薬剤の使用状況等のデータが十分に得られなかったため、その影響を考慮することができなかった。

5. 結論

喘息患児のピークフロー値が大気中SPM濃度の3時間平均値と関連しており、SPM濃度が高いと、その後測定したピークフロー値が有意に低いことが示された。この関連性は温暖期の起床時においてのみ認められ、温暖期の就寝時や寒冷期の起床時及び就寝時には一貫した有意な関連性は認められなかった。

参考文献

- 1 Roemer W, Hoek G, Brunekreef B. Effect of ambient winter air pollution on respiratory health of children with chronic respiratory symptoms. *Am Rev Respir Dis* 1993;147:118-24.
- 2 Neas LM, Dockery DW, Koutrakis P, Tollerud DJ, Speizer FE. The association of ambient air pollution with twice daily peak expiratory flow rate measurements in children. *Am J Epidemiol* 1995;141:111-22.
- 3 Neas LM, Dockery DW, Burge H, Koutrakis P, Speizer FE. Fungus spores, air pollutants, and other determinants of peak expiratory flow rate in children. *Am J Epidemiol* 1996;143:797-807.
- 4 Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Sienra JJ, Huerta J, White MC, Etzel RA. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;154:300-7.

- 5 Gielen MH, van der Zee SC, van Wijnen JH, van Steen CJ, Brunekreef B. Acute effects of summer air pollution on respiratory health of asthmatic children. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;155:2105-8.
- 6 Pekkanen J, Timonen KL, Ruuskanen J, Reponen A, Mirme A. Effects of ultrafine and fine particles in urban air on peak expiratory flow among children with asthmatic symptoms. *Environ Res* 1997;74:24-33.
- 7 Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Huerta J, Sienna JJ, White M, Etzel R, Hernandez M. Effects of intermittent ozone exposure on peak expiratory flow and respiratory symptoms among asthmatic children in Mexico City. *Arch Environ Health* 1997;52:368-76.
- 8 Roemer W, Hoek G, Brunekreef B, Haluszka J, Kalandidi A, Pekkanen J. Daily variations in air pollution and respiratory health in a multicentre study: the PEACE project. *Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe. Eur Respir J* 1998;12:1354-61.
- 9 Hoek G, Dockery DW, Pope A, Neas L, Roemer W, Brunekreef B. Association between PM10 and decrements in peak expiratory flow rates in children: reanalysis of data from five panel studies. *Eur Respir J* 1998;11:1307-11.
- 10 Segala C, Fauroux B, Just J, Pascual L, Grimfeld A, Neukirch F. Short-term effect of winter air pollution on respiratory health of asthmatic children in Paris. *Eur Respir J* 1998;11:677-85.
- 11 Vedal S, Petkau J, White R, Blair J. Acute effects of ambient inhalable particles in asthmatic and nonasthmatic children. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:1034-43.
- 12 Tiittanen P, Timonen KL, Ruuskanen J, Mirme A, Pekkanen J. Fine particulate air pollution, resuspended road dust and respiratory health among symptomatic children. *Eur Respir J* 1999;13:266-73.
- 13 Jalaludin BB, Chey T, O'Toole BI, Smith WT, Capon AG, Leeder SR. Acute effects of low levels of ambient ozone on peak expiratory flow rate in a cohort of Australian children. *Int J Epidemiol* 2000;29:549-57.
- 14 Roemer W, Hoek G, Brunekreef B, Clench-Aas J, Forsberg B, Pekkanen J, Schutz A. PM10 elemental composition and acute respiratory health effects in European children (PEACE project). *Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe. Eur Respir J*. 2000;15:553-9.
- 15 Just J, Segala C, Sahraoui F, Priol G, Grimfeld A, Neukirch F. Short-term health effects of particulate and photochemical air pollution in asthmatic children. *Eur Respir J* 2002;20:899-906.
- 16 Gold DR, Litonjua A, Schwartz J, Lovett E, Larson A, Nearing B, et al. 2000. Ambient pollution and heart rate variability. *Circulation* 101:1267-73.
- 17 Nemmar A, Hoet PHM, Vanquickenborne B, Dinsdale D, Thomeer M, Hoylaerts MF, et al. 2002. Passage of inhaled particles into blood circulation in humans. *Circulation* 105:411-4.
- 18 Salvi S, Blomberg A, Rudell B, Kelly F, Sandstrom T, Holgate ST, Frew A. Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:702-9.
- 19 U.S. EPA. Air Quality Criteria for Particulate Matter. 2004. U.S. Environmental Protection Agency. Available: <http://cfpub2.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=87903> [accessed 14 March 2006]

表 3.3.3-1 対象者の属性

対象者数 (N=70)			
性別	男子	44	63%
	女子	26	37%
年齢 (歳)	4 - 5	26	37%
	6 - 7	23	33%
	8 - 9	14	20%
	10 - 11	7	10%
身長 (cm) *	110未満	17	24%
	110 - 119	22	31%
	120 - 129	18	26%

* レンジ: 99.5cm ~ 139.2cm

表 3.3.3-2 大気汚染濃度及び気象因子の概略

	有効測定日数	平均	標準偏差	最小値	最大値
午前5時 - 午前8時 (3時間平均)					
気温 (°C)	307	14.3	8.0	-1.0	30.6
SPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	307	36.6	22.6	9.0	160.3
NO ₂ (ppb)	307	18.3	8.5	1.3	44.7
Ox (ppb)	307	17.7	13.4	0.3	52.3
午後7時 - 午後10時 (3時間平均)					
気温 (°C)	309	15.8	7.7	0.7	30.2
SPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	309	38.3	25.5	8.3	211.3
NO ₂ (ppb)	309	24.7	11.3	3.0	54.3
Ox (ppb)	309	23.2	15.5	1.0	71.3

表 3.3.3-3 季節別の大気汚染物質間の相関

	相関係数	
	温暖期*	寒冷期*
午前8時		
SPM-Ox	0.092	-0.213
SPM-NO ₂	0.316	0.373
Ox-NO ₂	-0.253	-0.692
午後10時		
SPM-Ox	0.203	-0.098
SPM-NO ₂	0.257	0.345
Ox-NO ₂	-0.297	-0.782

* 温暖期:4-9月、寒冷期:10-3月

表 3.3.3-4 温暖期(4-9月)の起床時における大気汚染濃度の単位変化量あたりのピークフロー値の変化量(L/min)

曝露時間	multi-pollutant model†			single-pollutant model‡		
	SPM§ 変化量 (95%CI)	Ox¶ 変化量 (95%CI)	NO₂¶ 変化量 (95%CI)	SPM§ 変化量 (95%CI)	NO₂¶ 変化量 (95%CI)	SPM§ 変化量 (95%CI)
当日8時から24時間前まで	-0.773 (-1.694,0.149)	-0.226 (-1.382,0.930)	0.142 (-1.587,1.871)	-0.818 (-1.474,-0.162)		*
前日8時から24時間前まで	-0.364 (-1.182,0.455)	-0.731 (-1.880,0.418)	-0.039 (-1.666,1.587)	-0.584 (-1.191,0.024)		
前々日8時から24時間前まで	0.149 (-0.576,0.875)	-1.347 (-2.486,-0.208)	*	-0.292 (-0.899,0.315)		
当日 5時-8時	-0.600 (-1.228,0.028)	-0.575 (-1.569,0.419)	-0.300 (-2.246,1.645)	-0.670 (-1.236,-0.104)		*
2時-5時	-0.780 (-1.399,-0.161)	* -0.052 (-0.997,0.893)	0.265 (-1.354,1.885)	-0.761 (-1.328,-0.194)		*
前日23時-2時	-0.612 (-1.180,-0.045)	* -0.305 (-1.269,0.658)	-0.187 (-1.447,1.073)	-0.661 (-1.159,-0.163)		*
20時-23時	-0.732 (-1.318,-0.145)	* -0.416 (-1.283,0.451)	0.432 (-0.689,1.553)	-0.714 (-1.212,-0.215)		*
17時-20時	-0.688 (-1.511,0.134)	-0.003 (-0.776,0.769)	-0.207 (-1.341,0.927)	-0.728 (-1.325,-0.130)		*
14時-17時	-0.339 (-0.915,0.237)	-0.256 (-0.882,0.370)	-0.239 (-1.179,0.702)	-0.486 (-0.979,0.007)		
11時-14時	-0.292 (-0.881,0.297)	-0.317 (-1.023,0.389)	-0.179 (-1.169,0.811)	-0.451 (-0.925,0.023)		
8時-11時	-0.170 (-0.661,0.321)	-0.570 (-1.406,0.266)	-0.464 (-1.481,0.552)	-0.354 (-0.806,0.098)		
5時-8時	-0.593 (-1.166,-0.020)	* -0.508 (-1.397,0.380)	-0.047 (-1.720,1.625)	-0.613 (-1.152,-0.075)		*

*P<0.05

† Model の説明変数は SPM、Ox、NO₂、年齢、性別、身長、成長因子及び気温

‡ Model の説明変数は SPM、年齢、性別、身長、成長因子及び気温

§ 10µg/m³ あたりのピークフロー値の変化量

¶ 10ppb あたりのピークフロー値の変化量

表 3.3.3-5 温暖期(4-9月)の就寝時における大気汚染濃度の単位変化量あたりのピークフロー一値の変化量(L/min)

曝露時間	multi-pollutant model†			single-pollutant model‡		
	SPM§ 変化量 (95%CI)	Ox¶ 変化量 (95%CI)	NO ₂ ¶ 変化量 (95%CI)	SPM§ 変化量 (95%CI)	NO ₂ ¶ 変化量 (95%CI)	SPM§ 変化量 (95%CI)
当日19時から24 時間前まで	-0.752 (-1.642,0.138)	-0.283 (-1.441,0.875)	0.949 (-0.702,2.599)	-0.653 (-1.364,0.058)		
前日19時から24 時間前まで	-0.530 (-1.319,0.258)	0.104 (-1.054,1.261)	0.636 (-1.023,2.295)	-0.388 (-1.031,0.255)		
前々日19時から 24時間前まで	-0.135 (-0.770,0.499)	-0.555 (-1.692,0.582)	0.157 (-1.374,1.688)	-0.233 (-0.835,0.369)		
当日 19時-22時	-0.449 (-1.071,0.174)	-0.220 (-1.171,0.731)	0.296 (-0.806,1.397)	-0.449 (-0.956,0.058)		
16時-19時	-0.434 (-1.122,0.254)	-0.118 (-0.809,0.574)	0.220 (-0.818,1.258)	-0.449 (-1.029,0.131)		
13時-16時	-0.415 (-1.015,0.184)	-0.186 (-0.888,0.516)	0.438 (-0.568,1.444)	-0.414 (-0.943,0.115)		
10時-13時	-0.522 (-1.199,0.155)	-0.315 (-1.123,0.493)	0.536 (-0.546,1.617)	-0.486 (-1.051,0.079)		
7時-10時	-0.579 (-1.176,0.018)	-0.658 (-1.794,0.479)	0.789 (-0.472,2.050)	-0.500 (-1.047,0.046)		
4時-7時	-0.605 (-1.279,0.070)	-0.232 (-1.155,0.691)	0.635 (-1.013,2.282)	-0.546 (-1.174,0.082)		
1時-4時	-0.363 (-0.927,0.201)	-0.338 (-1.231,0.555)	-0.192 (-1.774,1.390)	-0.428 (-0.956,0.101)		
前日 22時-1時	-0.446 (-0.993,0.100)	-0.256 (-1.193,0.680)	-0.108 (-1.430,1.214)	-0.480 (-0.958,-0.002)		*
19時-22時	-0.252 (-0.875,0.371)	-0.159 (-1.031,0.713)	0.385 (-0.637,1.406)	-0.224 (-0.734,0.287)		

*P<0.05

† Modelの説明変数はSPM、Ox、NO₂、年齢、性別、身長、成長因子及び気温

‡ Modelの説明変数はSPM、年齢、性別、身長、成長因子及び気温

§ 10µg/m³あたりのピークフロー一値の変化量

¶ 10ppbあたりのピークフロー一値の変化量

表 3.3.3-6 寒冷期(10-3月)の起床時における大気汚染濃度の単位変化量あたりのピークフロー値の変化量(L/min)

曝露時間	multi-pollutant model†			single-pollutant model‡		
	SPM§ 変化量	Ox¶ 変化量	NO₂¶ 変化量	SPM§ 変化量	NO₂¶ 変化量	SPM§ 変化量
当日8時から24 時間前まで	0.387	-0.412	0.594	0.553	0.594	0.553
前日8時から24 時間前まで	0.416	-0.548	1.099	0.650	1.099	0.650
前々日8時から 24時間前まで	0.524	-0.898	-0.970	0.412	-0.970	0.412
当日 5時-8時	0.290	-0.415	-0.319	0.308	-0.319	0.308
2時-5時	0.431	-0.046	0.262	0.485	0.262	0.485
前日23時-2時	0.304	0.004	0.609	0.486	0.609	0.486
20時-23時	0.010	-0.470	0.155	0.100	0.155	0.100
17時-20時	0.154	0.049	1.147	0.418	1.147	0.418
14時-17時	0.401	-0.139	0.183	0.442	0.183	0.442
11時-14時	0.352	-0.229	0.024	0.375	0.024	0.375
8時-11時	0.286	-0.294	0.814	0.460	0.814	0.460
5時-8時	0.418	-0.319	0.607	0.513	0.607	0.513

*P<0.05

† Model の説明変数は SPM、Ox、NO₂、年齢、性別、身長、成長因子及び気温

‡ Model の説明変数は SPM、年齢、性別、身長、成長因子及び気温

§ 10µg/m³ あたりのピークフロー値の変化量

¶ 10ppb あたりのピークフロー値の変化量

表 3.3.3-7 寒冷期(10-3月)の就寝時における大気汚染濃度の単位変化量あたりのピークフロー値の変化量(L/min)

曝露時間	multi-pollutant model†			single-pollutant model‡		
	SPM\$ 変化量 (95%CI)	Ox¶ 変化量 (95%CI)	NO ₂ ¶ 変化量 (95%CI)	SPM\$ 変化量 (95%CI)	NO ₂ ¶ 変化量 (95%CI)	SPM\$ 変化量 (95%CI)
当日19時から24 時間前まで	0.214 (-0.562,0.989)	0.921 (-1.675,3.517)	1.248 (-1.926,4.422)	0.356 (-0.289,1.001)		
前日19時から24 時間前まで	0.056 (-0.564,0.675)	1.091 (-1.182,3.364)	1.760 (-0.597,4.116)	0.285 (-0.282,0.852)		
前々日19時から 24時間前まで	-0.048 (-0.616,0.520)	0.481 (-1.974,2.935)	0.911 (-1.668,3.489)	0.063 (-0.470,0.595)		
当日 19時-22時	0.059 (-0.397,0.515)	-0.656 (-2.394,1.083)	-0.415 (-2.444,1.613)	0.071 (-0.388,0.529)		
16時-19時	0.360 (-0.093,0.812)	0.046 (-1.140,1.232)	-0.144 (-1.490,1.202)	0.318 (-0.123,0.758)		
13時-16時	0.357 (-0.157,0.871)	0.164 (-1.038,1.365)	-0.181 (-1.821,1.459)	0.317 (-0.171,0.804)		
10時-13時	0.169 (-0.394,0.731)	0.665 (-0.613,1.942)	0.194 (-1.503,1.890)	0.112 (-0.412,0.636)		
7時-10時	0.175 (-0.404,0.754)	0.964 (-0.351,2.279)	1.631 (0.136,3.125)	0.349 (-0.158,0.856)		
4時-7時	0.249 (-0.282,0.780)	0.891 (-0.439,2.221)	1.330 (-0.871,3.531)	0.339 (-0.126,0.804)		
1時-4時	0.112 (-0.422,0.646)	1.056 (-0.220,2.332)	1.666 (-0.204,3.535)	0.285 (-0.211,0.780)		
前日 22時-1時	0.064 (-0.457,0.586)	0.500 (-1.004,2.003)	0.639 (-1.164,2.441)	0.145 (-0.340,0.629)		
19時-22時	-0.112 (-0.614,0.391)	0.707 (-0.927,2.341)	1.208 (-0.486,2.902)	0.065 (-0.430,0.560)		

*P<0.05

† Model の説明変数は SPM、Ox、NO₂、年齢、性別、身長、成長因子及び気温

‡ Model の説明変数は SPM、年齢、性別、身長、成長因子及び気温

\$ 10µg/m³ あたりのピークフロー値の変化量

¶ 10ppb あたりのピークフロー値の変化量

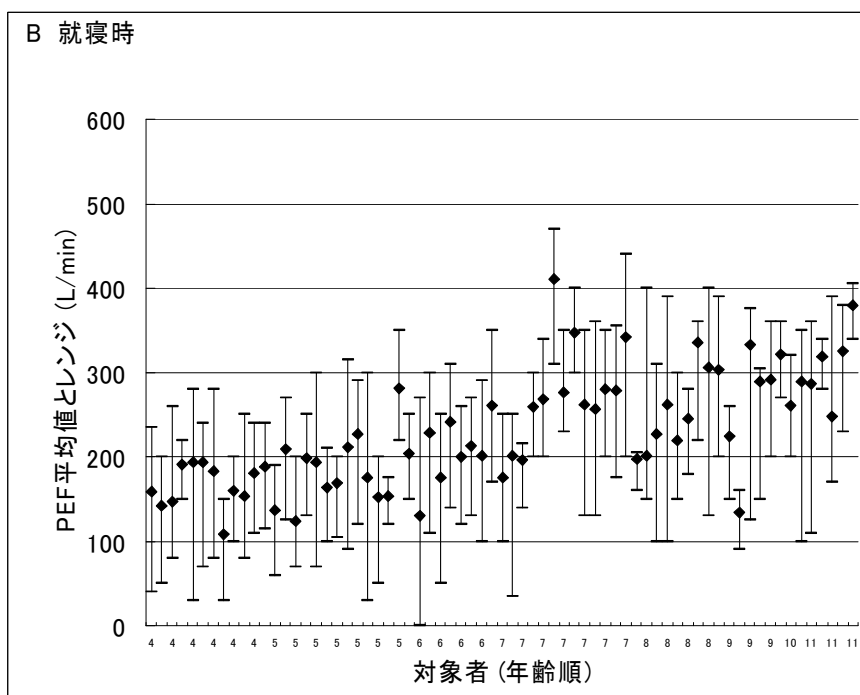
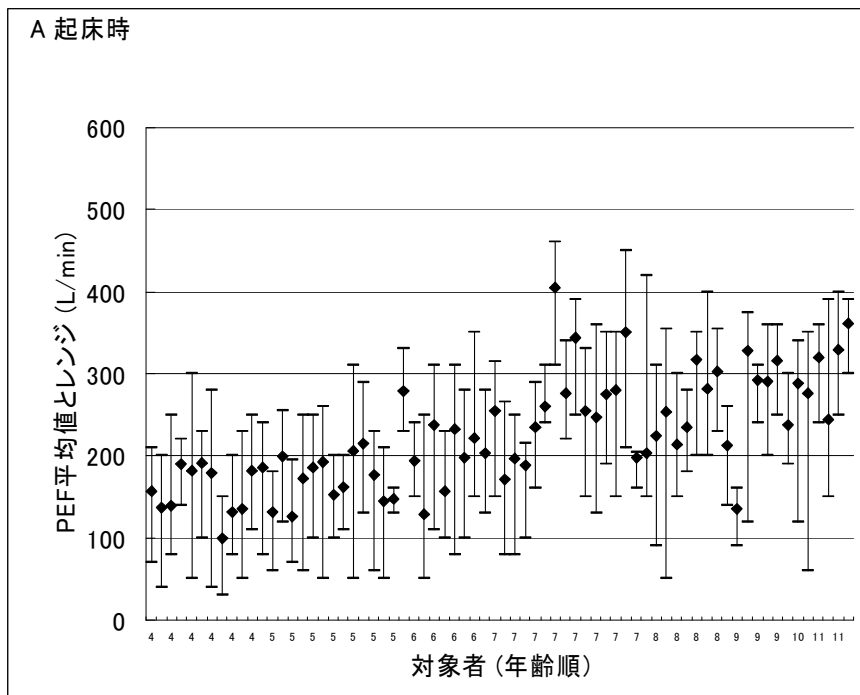


図 3.3.3-1 対象者のピークフロー値の平均値と最大値と最小値(A 起床時、B 就寝時)。対象者は月齢順

(3. 4) PM_{2.5}濃度と小学生のピークフロー値及び1秒量との関連性解析

概要

大気中微小粒子(PM_{2.5})濃度が小学生の肺機能に与える短期的影響を検討した。

千葉県のある2小学校の4、5年生を対象に、2002年10-12月のうちの4週間、毎日起床時と就寝前の1日2回、電子式ピークフローメーターを用いてピークフロー値及び1秒量の自己測定を実施した。また、血液を採取し、血清総IgE値を測定した。大気中PM_{2.5}濃度は、検査実施期間中、小学校敷地内において連続測定を行った。generalized estimate equation (GEE)を用いて、性別に、身長、血清総IgE値、学校、気温の影響を調整し、時間帯別にPM_{2.5}濃度とピークフロー値及び1秒量との関連を解析した。解析対象者数は、すべての検査で十分な結果が得られた86名(男子44名、女子42名)である。

午前5-11時に測定されたピークフロー値の低下は、男女ともに測定前の一部の時間帯におけるPM_{2.5}濃度の上昇との間に有意な関連が認められた。しかし、これらの関連性はsingle-pollutant modelとmulti-pollutant modelで必ずしも一致しなかった。午後5-11時のピークフロー値は、女子においてのみ6-5時間前及び31-30時間前のPM_{2.5}濃度の上昇により有意な低下が認められたが、その他の時間帯のPM_{2.5}濃度との関連は有意ではなかった。男子では一部の時間帯において、PM_{2.5}濃度が増加するとピークフロー値が高くなるという関連がみられた。

午前5-11時に測定された1秒量は、男女ともにPM_{2.5}濃度との間に安定した関連はみられなかった。午後5-11時の1秒量の低下は、男女ともにmulti-pollutant modelで複数の時間帯のPM_{2.5}濃度の上昇との間には有意な関連が認められた。

以上のとおり、小学生の夜間のピークフロー値及び1秒量については、測定前の一部の時間帯におけるPM_{2.5}濃度が高いとピークフロー値及び1秒量が低下するという有意な関連性がみられ、日中の大気中粒子状物質濃度の増加が肺機能の低下を引き起こす可能性が示唆された。しかし、有意な関連性が見出されたのは一部の時間帯についてのみであり、必ずしも一貫した影響はみられなかった。

1. 背景

微小粒子状物質をはじめとする大気汚染物質の増加が気管支喘息患者の肺機能低下や呼吸器症状の悪化に影響を及ぼすことが数多く報告されている[1-3]。しかし、気管支喘息患者の多くは非発作時においても継続して吸入ステロイド薬などによる治療を受けていることが多く、それらの治療の効果によって大気汚染物質の影響を正しく評価することができない可能性が考えられる。そのため、一般児童等の健常者を対象とした大気汚染物質の急性影響の評価も行われているが、わが国においてはこうした研究はほとんど実施されていない。

そこで、本研究では微小粒子状物質(PM_{2.5})をはじめとする大気汚染物質が健常小児の呼吸器系に及ぼす影響を評価することを目的として、小学生を対象にピークフロー値及び1秒量の自己測定を実施して経時的变化を観察した。同時に、対象者の血液検査によってアレルギー素因についての評価も行い、大気汚染物質濃度との関連を検討した。

2. 対象と方法

2.1 調査の対象者

千葉県にある千葉市立A小学校及び船橋市立B小学校の2校に通学する4、5年生全員(在籍者数はそれぞれ125名、126名)を調査の対象とした。いずれの小学校も自動車交通量の多い主要幹線道路に近接している。

2.2 調査方法

小学校を通じて対象者の保護者に文書で調査の説明を行い、書面による同意が得られた者を対象とした。保護者の同意が得られた児童に対して、学校で調査の目的及び方法を口頭で説明し、児童本人にも同意を得た上で実施した。なお、本調査の実施に際しては、千葉大学大学院医学研究院倫

理審査会の承認を得た。

① 呼吸器症状調査

呼吸器及びアレルギー症状、生活環境に関する質問票（環境庁版 ATS-DLD 小児用質問票をもとに生活環境に関する質問を追加したもの）による調査を実施した。調査票は説明書とともに学校を通じて配付し、保護者に記入してもらい、約1週間後に回収した。回収した調査票の記入に不備がある場合は、学校を通じて再記入を依頼した。

② ピークフロー及び1秒量のモニタリング（自己測定）

検査には電子式ピークフローメーター Electronic PEF/FEV1 Diary (Vitalograph 社製) を使用した。同意が得られた児童には、調査開始日に学校で電子式ピークフローメーターを1台ずつ配付し、検査の目的及び方法を説明した後、児童自身で正しく測定が実施できるようになるまで十分な指導と訓練を行った。その後は器械を自宅に持ち帰ってもらい、自宅で4週間連続して毎日起床時と就寝前の1日2回、立位で自己測定を行うように指示した。同時に、調査期間中の呼吸器及びアレルギー症状の有無を記録してもらった。

測定方法は Electronic PEF/FEV1 Diary に搭載されているプログラムにより、測定値の再現性を確保するために、2回のピークフロー値の差が10%以内となるまで最大5回の測定を実施し、ピークフロー値及び1秒量の最大値が測定日時とともに自動的に内蔵メモリに記録されるように設定した。ただし、5回の測定を行っても10%以内の測定値が得られなかった場合は、5回のうちの最大値が記録されることとした。検査期間終了後に器械を回収して、測定記録をパーソナルコンピューターにダウンロードして解析に用いた。

検査は、千葉市立 A 小学校では2002年10月28日(月)～11月25日(月)、船橋市立 B 小学校では2002年11月15日(金)～12月13日(金)のそれぞれ4週間実施した。

③ 血液検査（アレルギー素因の評価）

ピークフロー・1秒量のモニタリング検査の開始日に学校で血液検査を行い、血清総 IgE 値を定量し、アレルギー素因の有無を評価した。総 IgE は 250 IU/ml 以上を高値とした。

2.3 大気環境データ

大気汚染物質濃度は、ピークフロー及び1秒量の検査実施期間中、TEOM-1400 (R&P 社製)を用いて PM_{2.5} 濃度の連続測定を行った。測定地点は、千葉市立 A 小学校は小学校敷地内にある千葉市の一般環境大気測定局であり、船橋市立 B 小学校は小学校屋上と小学校に最も近い船橋市の一般環境大気測定局で実施した。同時にそれぞれの測定局で測定されている二酸化窒素 (NO₂) 濃度及び光化学オキシダント (Ox) 濃度の1時間値のデータを得た。気象関連のデータは千葉市及び船橋市の気象庁アメダス観測点において観測されている気温を用いた。

2.4 統計解析

起床時と就寝前の1日2回、4週間で合わせて56回の測定機会のうち34回(60%)以上の有効な測定結果が得られ、かつ血液検査を受診したものを解析の対象とした。ピークフロー値及び1秒量は、午前5時から午前11時の間、午後5時から午後11時の間に測定された結果を有効なものとして用いることとした。同一対象者について繰り返し同一項目の調査や測定を実施した経時観察研究では、繰り返し測定したデータに相関があることから、この相関を考慮した基本的な統計モデルである generalized estimate equation (GEE)を用いて、ピークフロー値及び1秒量の測定値と PM_{2.5} 濃度との関連を解析し、PM_{2.5} の1時間平均濃度が 10 µg/m³ 増加したときの変化量で示した。PM_{2.5} 濃度は、呼吸機能測定時刻から1時間前までの1時間平均濃度から、72～73時間前までの1時間平均濃度までの各1時間平均濃度とピークフロー値及び1秒量の測定値との関連について、それぞれの測定時間帯(午前・午後)別・男女別に解析した。このとき、調整変数として、性別に身長、血清総 IgE 値の区分(250 IU/ml 以上/未満)、学校(千葉/船橋)、気温の影響を解析モデルに含めた(single-pollutant model)。また、これらの調整要因のほかに NO₂ 及び Ox 濃度も共変量

とし、PM_{2.5}濃度とピークフロー値及び1秒量との関連性についても解析した（multi-pollutant model）。

さらに、それぞれの解析モデルで、PM_{2.5}の24時間平均濃度（ピークフロー値及び1秒量測定時刻の72～48時間前、48～24時間前、24時間前～測定時）との関連性についても解析した。

3. 結果

3.1 調査実施状況と解析対象者数

調査実施状況は表3.3.4-1に示した。質問票の回収率は両校ともに97%以上と良好であった。ピークフロー及び1秒量の検査は、千葉市89名（71.2%）、船橋市80名（63.5%）、血液検査はそれぞれ85名（68.0%）、79名（62.7%）の同意が得られ、実施することができた。すべての検査についての同意が得られ、実施できたものは、千葉市70名（56.0%）、船橋市66名（52.4%）であった。

解析対象者数を表3.3.4-2に示した。ピークフロー及び1秒量の検査を34回以上実施したものは、千葉市58名（男子33名、女子25名）、船橋市49名（男子22名、女子27名）であり、そのうち血液検査の結果が得られたものはそれぞれ48名（男子28名、女子20名）、38名（男子16名、女子22名）であった。

対象者のピークフローと1秒量の平均値を表3.3.4-3に示した。

3.2 大気中PM_{2.5}濃度とピークフロー値との関係

single-pollutant modelによる午前5～11時のピークフロー値の変化量と大気中PM_{2.5}濃度との関連を男女別に、図3.3.4-1、2に示した。結果は、測定の72～48時間前、48～24時間前、24時間前～測定時刻までの各24時間のPM_{2.5}平均濃度がそれぞれ10 µg/m³増加したときのピークフロー値の変化量を示した（図3.3.4-1(a)及び図3.3.4-2(a)）。また、測定の24～23時間前までの1時間のPM_{2.5}平均濃度から、測定の1時間前から測定時刻までの1時間のPM_{2.5}平均濃度までの、各1時間のPM_{2.5}平均濃度が10 µg/m³増加したときのピークフロー値の変化量を1時間ごとに示した（図3.3.4-1(b)及び図3.3.4-2(b)）。さらに、73～72時間前の1時間平均濃度から、1時間前から測定時刻までの1時間平均濃度までの、各1時間のPM_{2.5}平均濃度が10 µg/m³増加したときのピークフロー値の変化量を6時間ごとに示した（図3.3.4-1(c)及び図3.3.4-2(c)）。女子の61～60時間前の1時間のPM_{2.5}平均濃度と午前のピークフロー値の間に有意な関連性がみられた（図3.3.4-2(c)）が、その他の時間帯では男女ともに有意な関連性は認められなかった。

同様に、午後5～11時のピークフロー値の変化量と大気中PM_{2.5}濃度との関連を図3.3.4-3、4に示した。男子では、測定の37～36時間前の1時間のPM_{2.5}平均濃度が増加すると、ピークフロー値が有意に高くなるという関連が観察された（図3.3.4-3(c)）。女子では、測定の6～5時間前及び31～30時間前の1時間のPM_{2.5}平均濃度の上昇によりピークフロー値の有意な低下が観察された（それぞれPM_{2.5}濃度10 µg/m³増加あたりのピークフロー値の変化は、-1.581 L/min [95% CI: -3.066、-0.095 L/min]、-1.507 L/min [95% CI: -2.847、-0.167 L/min]）（図3.3.4-4(b)(c)）。

multi-pollutant modelによる午前5～11時のピークフロー値の変化量と大気中PM_{2.5}濃度との関連を男女別に、図3.3.4-5、6に示した。single-pollutant modelで有意な関連が見られた女子の61～60時間前の1時間のPM_{2.5}平均濃度と午前のピークフロー値との関連性は、multi-pollutant modelにおいても有意であった（図3.3.4-6(c)）。さらに、single-pollutant modelでは有意な関連性がみられなかったが、男子（図3.3.4-5(c)）の67～66時間前の1時間のPM_{2.5}平均濃度及び女子（図3.3.4-6(c)）の73～72時間前及び61～60時間前の1時間のPM_{2.5}平均濃度が高いとピークフロー値が有意に低下するという関連がみられた。

同様に、multi-pollutant modelによる午後5～11時のピークフロー値の変化量と大気中PM_{2.5}濃度との関連を図3.3.4-7、8に示した。single-pollutant modelで有意な関連が見られた女子の6～5時間前及び31～30時間前の1時間のPM_{2.5}平均濃度と午後のピークフロー値との関連性は、multi-pollutant modelにおいてもそれぞれ有意であった（図3.3.4-8(b)、(c)）。

3.3 大気中PM_{2.5}濃度と1秒量との関係

single-pollutant modelによる午前5～11時の1秒量の変化量と大気中PM_{2.5}濃度との関連を図

3.3.4-9、10 に示した。男子では、測定の前 31～30 時間前の 1 時間の $PM_{2.5}$ 平均濃度が増加すると 1 秒量が有意に高くなるという関連が観察された(図 3.3.4-9(c))。

同様に、午後 5～11 時の 1 秒量の変化量と大気中 $PM_{2.5}$ 濃度との関連を図 3.3.4-11、12 に示した。男子では、測定の前 37～36 時間前の 1 時間の $PM_{2.5}$ 平均濃度が増加すると 1 秒量が有意に高くなるという関連が観察された(図 3.3.4-11(c))。

single-pollutant model では、男女ともに、 $PM_{2.5}$ 平均濃度が増加すると 1 秒量が低下するという関連は認められなかった。

multi-pollutant model による午前 5～11 時の 1 秒量の変化量と大気中 $PM_{2.5}$ 濃度との関連を男女別に、図 3.3.4-13、14 に示した。single-pollutant model で有意な関連が見られた男子の前 31～30 時間前の 1 時間の $PM_{2.5}$ 平均濃度と午前の 1 秒量との関連性は、multi-pollutant model では有意ではなかった(図 3.3.4-13(c))。一方、single-pollutant model で有意な関連が見られなかった女子の前 55～54 時間前の 1 時間の $PM_{2.5}$ 平均濃度と午前のピークフロー値との関連性は、multi-pollutant model においては有意であった(図 3.3.4-14(c))。しかし、このときの変化量の信頼区間は広く、また、点推定値は single-pollutant model と multi-pollutant model では大きく異なっていた(それぞれ -0.0047 L、 -0.0368 L)。

同様に、multi-pollutant model による午後 5～11 時の 1 秒量の変化量と大気中 $PM_{2.5}$ 濃度との関連を図 3.3.4-15、16 に示した。single-pollutant model で有意な関連が見られた男子の前 37～36 時間前の 1 時間の $PM_{2.5}$ 平均濃度と午後の 1 秒量との関連性は、multi-pollutant model では有意ではなかった(図 3.3.4-15(c))。一方、single-pollutant model で有意な関連が見られなかった男子の前 19～18 時間前及び 43～42 時間前の 1 時間の $PM_{2.5}$ 平均濃度と午後の 1 秒量に有意な関連性がみられ、 $PM_{2.5}$ 平均濃度の増加により 1 秒量が有意に低下していた(図 3.3.4-15(c))。1 秒量の変化量の推定値は、それぞれ -0.0275 L (95% CI: -0.0451 、 -0.0100 L)、 -0.0285 L (95% CI: -0.0545 、 -0.0025 L) であった。また、女子の前 9～8 時間前、10～9 時間前、11～10 時間前、19～18 時間前、及び 21～20 時間前の 1 時間の $PM_{2.5}$ 平均濃度と午後の 1 秒量に有意な関連性がみられた(図 3.3.4-16(b)(c))。1 秒量の変化量の推定値は、それぞれ -0.0103 L (95% CI: -0.0195 、 -0.0012 L)、 -0.0105 L (95% CI: -0.0202 、 -0.0008 L)、 -0.0103 L (95% CI: -0.0202 、 -0.0016 L)、 -0.0309 L (95% CI: -0.0488 、 -0.0131 L)、 -0.0270 L (95% CI: -0.0485 、 -0.0055 L) であった。

4. 考察

千葉県内の 2 小学校に通学している児童を対象に、4 週間にわたってピークフロー値及び 1 秒量の自己測定を行ってもらい、検査期間中に各小学校内において連続測定された $PM_{2.5}$ 濃度との関連を検討した。今回の解析に際しては、同意が得られた児童のうち 34 回以上の自己測定を実施し、かつ血液検査の結果も得られたものに限定したため、十分な対象者数とはいえないが、2 校で 86 名についての解析を行うことができた。

午前 5～11 時に測定されたピークフロー値の変動は、男女ともに測定時刻から 73 時間前までの $PM_{2.5}$ 濃度との間には一部の時間帯で有意な関連が認められた。しかし、single-pollutant model と multi-pollutant model で一致した関連性は認められない、あるいは点推定値が大きく変動するなど、観察された関連は不安定であった。

午後 5～11 時に測定されたピークフロー値は、女子においてのみ 6～5 時間前及び 31～30 時間前の $PM_{2.5}$ 濃度の増加により有意な低下が認められた。その他の時間帯の $PM_{2.5}$ 濃度との間には有意な関連はみられなかった。一方、男子では一部の時間帯で有意な関連がみられたが、 $PM_{2.5}$ 濃度が増加するとピークフロー値が高くなるという研究仮説とは逆の関連であった。

1 秒量についても、男女ともに一部の時間帯で有意な関連が認められた。午前 5～11 時に測定された 1 秒量の変動については必ずしも安定した関連性ではなかった。午後 5～11 時に測定された 1 秒量は、男女ともに multi-pollutant model で複数の時間帯の $PM_{2.5}$ 濃度の増加により有意な低下が認められ、 $PM_{2.5}$ 以外の汚染物質との複合的な影響の可能性が示唆された。

粒子状物質をはじめとする大気汚染物質が呼吸器系に及ぼす短期的な影響については、気管支喘息等の呼吸器疾患患者を対象として検討されたものが多い。近年、喘息患者の多くは非発作時においても吸入ステロイド薬等による治療を行っており、大気汚染の影響を正しく評価することが困難で

あるかもしれない。Neasら(1995,1996)[4,5]は、一般の児童を対象にピークフローモニタリングを行い、大気中粒子状物質濃度との関係を検討している。Pennsylvania州 Uniontownの83人の小児を対象とした研究では、昼間12時間の微小粒子(PM_{2.1})平均濃度15 µg/m³増加あたりの夜間のピークフロー値の変化は-0.83 L/min (95% CI: -1.66、 0.01 L/ min)であったとしている[4]。また、Pennsylvania州 State Collegeの108人を対象とした研究では、24時間のPM_{2.1}平均濃度15 µg/m³増加あたりの夜間のピークフロー値の変化は-0.44 L/ min (95% CI: -1.38、 0.50 L/ min)であったと報告している[5]。SchwartzとNeas(2000)[6]は、これらの結果を合わせて再解析を行い、昼間12時間のPM_{2.1}平均濃度15 µg/m³増加あたりの夜間のピークフロー値の変化は-0.68 L/ min (95% CI: -1.14、 -0.22 L/ min)であり、有意な低下が認められたとしている。これらの先行研究はいずれも日中の大気中粒子状物質濃度の増加が当日夜のピークフロー値に影響を与えることを示している。

今回の調査では、ピークフロー値は検査実施前の一部の時間帯のPM_{2.5}濃度との間に有意な関連が観察されたが、その他の時間帯のPM_{2.5}濃度との関連は有意ではなかった。しかし、有意な関連性が見出された時間帯においては、PM_{2.5}濃度の増加あたりのピークフロー値の変化量は、先行研究に比して大きかった。これは、今回の研究ではPM_{2.5}濃度の1時間値との関係性を評価したこと、また電子式ピークフローメーターを用いたために測定時刻及び測定値を正確に記録することができ、ピークフロー値と大気中PM_{2.5}濃度との関係を先行研究よりも正確に評価することができたためであると考えられる。そのため、自己測定記録を用いた場合に問題となりうる曝露と測定時間のタイムラグの誤分類は、本研究においては考慮する必要がない。さらに、対象者のほとんどが健常な小学生であることから、服薬などの肺機能に及ぼす大気汚染以外の因子の影響も小さいと考えられる。また、大気中粒子状物質が1秒量に及ぼす短期的影響についてはこれまでにほとんど検討されておらず、新たな知見を得ることができた。

大気中PM_{2.5}濃度は、調査期間中にそれぞれの小学校敷地内で測定した値を用いた。個人ごとの曝露量を直接評価したわけではないが、今回の調査で対象となった小学生は全員が小学校の近隣に居住しており、また平日は小学校で過ごす時間が長いことから、小学校におけるPM_{2.5}濃度は対象者の曝露量と大きな差はないと考えられる。

5. 結論

小学生の夜間の肺機能値については、測定前の一部の時間帯におけるPM_{2.5}濃度が高いとピークフロー値及び1秒量が低下するという有意な関連性がみられ、日中における大気中粒子状物質濃度の増加と当日夜の小学生の肺機能の低下との関連がみられた。しかし、有意な関連性が見出されたのは一部の時間帯についてのみであり、必ずしも一貫した影響を認めることはできなかった。

参考文献

- 1 Vedal S, Petkau J, White R, Blair J. Acute effects of ambient inhalable particles in asthmatic and nonasthmatic children. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:1034-43.
- 2 Just J, Segala C, Sahraoui F, Priol G, Grimfeld A, Neukirch F. Short-term health effects of particulate and photochemical air pollution in asthmatic children. *Eur Respir J* 2002;20:899-906.
- 3 Delfino RJ, Quintana PJ, Floro J, Gastanaga VM, Samimi BS, Kleinman MT, Liu LJ, Bufalino C, Wu CF, McLaren CE. Association of FEV1 in asthmatic children with personal and microenvironmental exposure to airborne particulate matter. *Environ Health Perspect* 2004; 112: 932-941.
- 4 Neas LM, Dockery DW, Koutrakis P, Tollerud DJ, Speizer FE. The association of ambient air pollution with twice daily peak expiratory flow rate measurements in children. *Am J Epidemiol* 1995;141:111-22.
- 5 Neas LM, Dockery DW, Burge H, Koutrakis P, Speizer FE. Fungus spores, air pollutants, and other determinants of peak expiratory flow rate in children. *Am J Epidemiol* 1996;143:797-807.
- 6 Schwartz J, Neas LM. Fine particles are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren. *Epidemiology*. 2000;11:6-10.

表 3.3.4-1 調査実施状況

学校名	実施数			実施率 (%)
	男子	女子	計	
千葉市立 A 小学校 (n = 125)				
質問票調査	64	58	122	97.6
ピークフロー・1 秒量	52	37	89	71.2
血液検査	47	38	85	68.0
すべて受診	42	28	70	56.0
船橋市立 B 小学校 (n = 126)				
質問票調査	62	63	125	99.2
ピークフロー・1 秒量	40	40	80	63.5
血液検査	37	42	79	62.7
すべて受診	32	34	66	52.4

表 3.3.4-2 解析対象者数

		34 回以上 測定実施者	血液検査受診者
千葉市立 A 小学校	男子	33 (63.5)	28 (53.8)
	女子	25 (67.6)	20 (54.1)
	計	58 (65.2)	48 (53.9)
船橋市立 B 小学校	男子	22 (55.0)	16 (40.0)
	女子	27 (67.5)	22 (55.0)
	計	49 (61.3)	38 (47.5)

()内は検査実施者に占める割合

表 3.3.4-3 実施者のピークフロー及び1秒量の平均値

小学校区分	性別	測定項目	対象者全数の平均	34回以上測定者の平均	血液検査実施者の平均
千葉市立A小学校	男子	PEF (L/min)	249.8	247.5	250.1
		1秒量 (L)	1.65	1.65	1.66
	女子	PEF (L/min)	241.8	239.2	244.3
		1秒量 (L)	1.52	1.50	1.50
	計	PEF (L/min)	246.5	243.9	247.7
		1秒量 (L)	1.60	1.59	1.59
船橋市立B小学校	男子	PEF (L/min)	263.7	267.5	268.9
		1秒量 (L)	1.67	1.73	1.71
	女子	PEF (L/min)	268.4	278.7	284.9
		1秒量 (L)	1.58	1.60	1.62
	計	PEF (L/min)	266.1	273.7	278.2
		1秒量 (L)	1.63	1.66	1.66

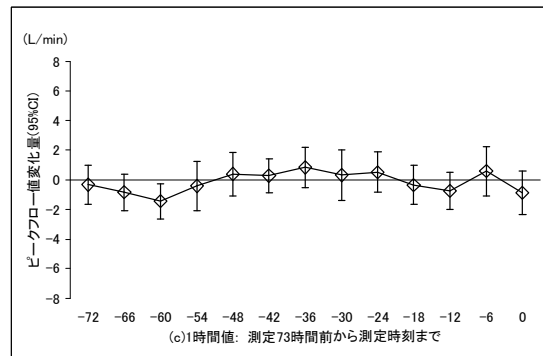
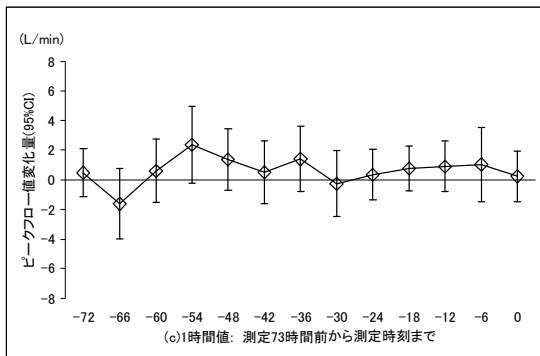
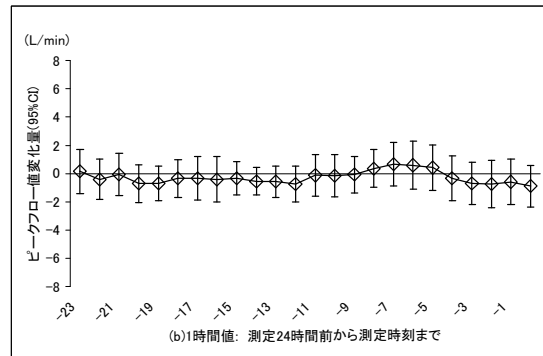
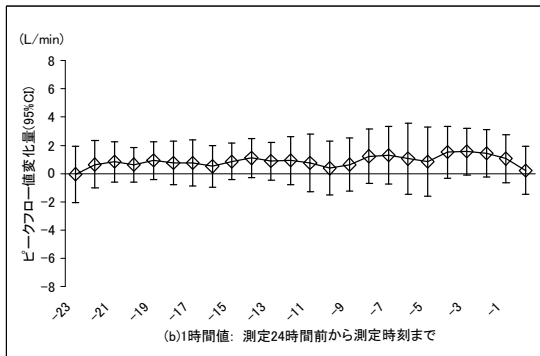
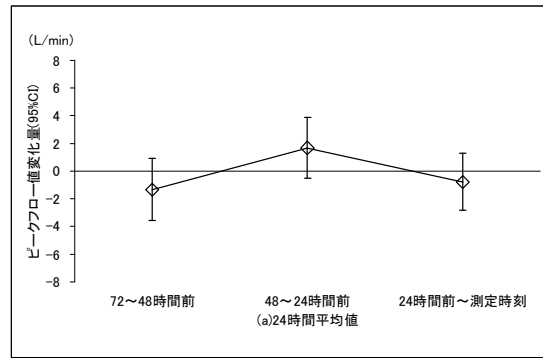
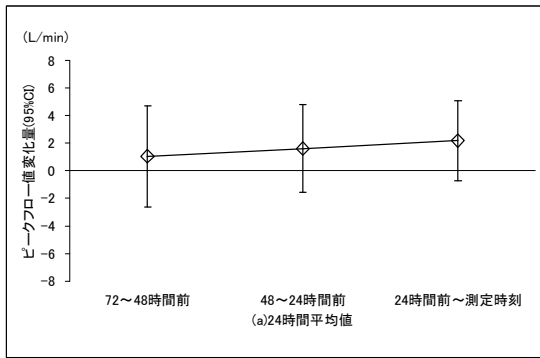


図 3.3.4-1 PM_{2.5} 濃度 10 μ g/m³ あたりのピークフロー値 (午前5~11時測定) 変化量 (男子)
single-pollutant model により、身長、血清総IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

図 3.3.4-2 PM_{2.5} 濃度 10 μ g/m³ あたりのピークフロー値 (午前5~11時測定) 変化量 (女子)
single-pollutant model により、身長、血清総IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

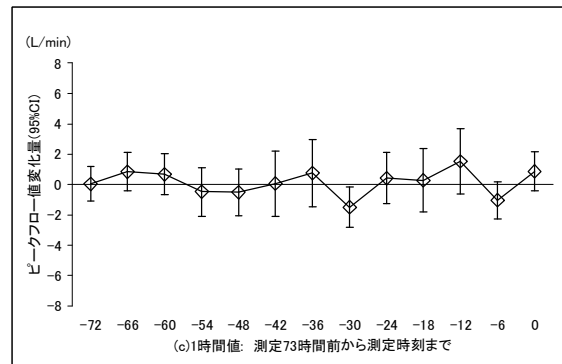
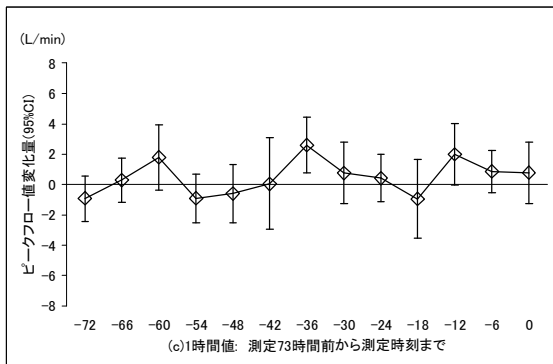
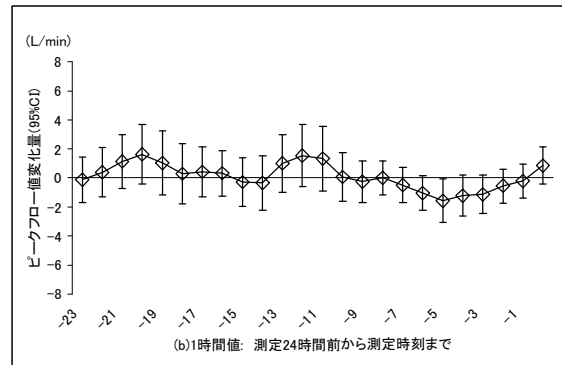
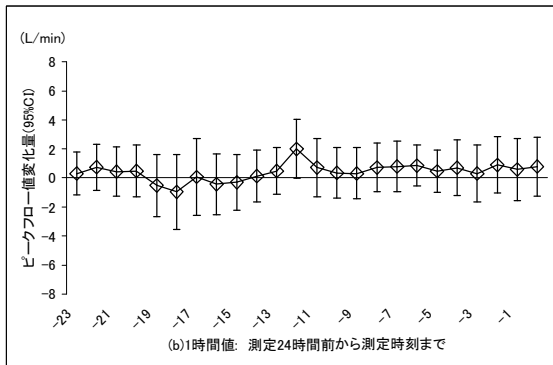
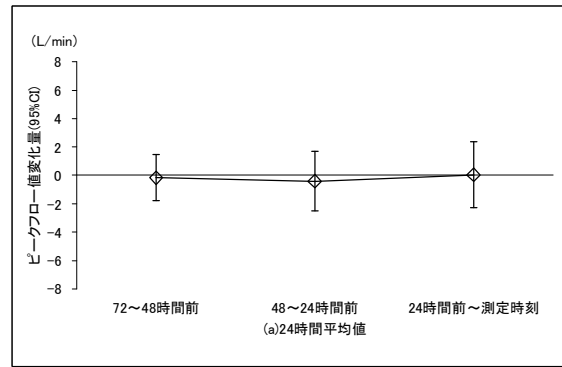
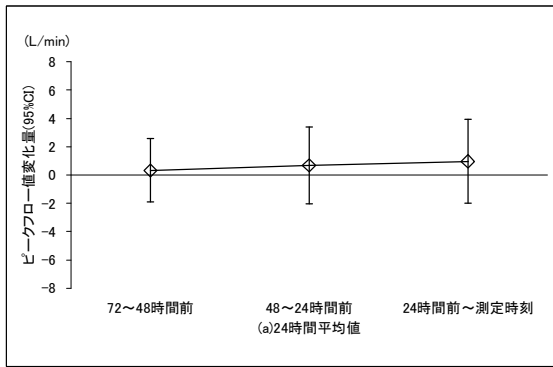


図 3.3.4-3 PM_{2.5} 濃度 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ あたりのピークフロー値 (午後5~11時測定) 変化量 (男子)
single-pollutant model により、身長、血清総IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

図 3.3.4-4 PM_{2.5} 濃度 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ あたりのピークフロー値 (午後5~11時測定) 変化量 (女子)
single-pollutant model により、身長、血清総IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

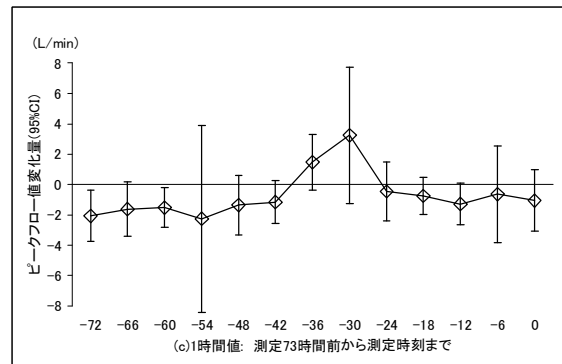
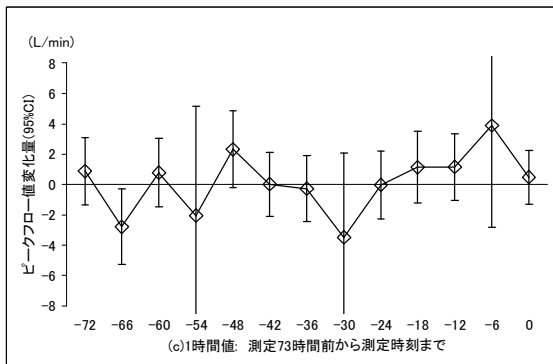
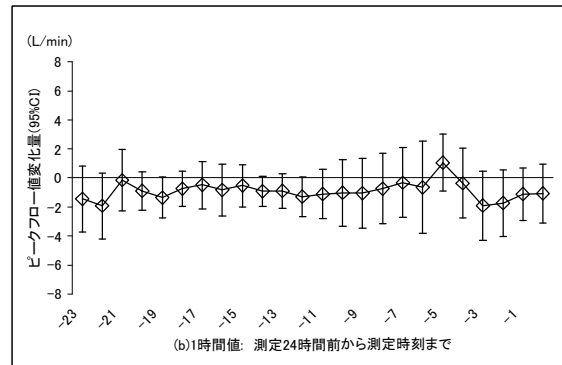
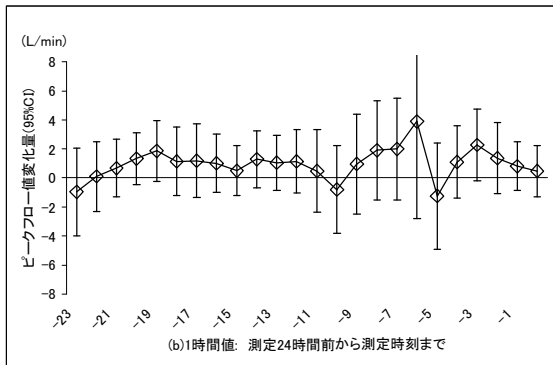
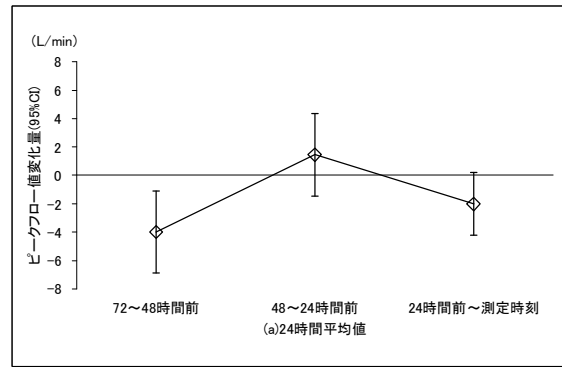
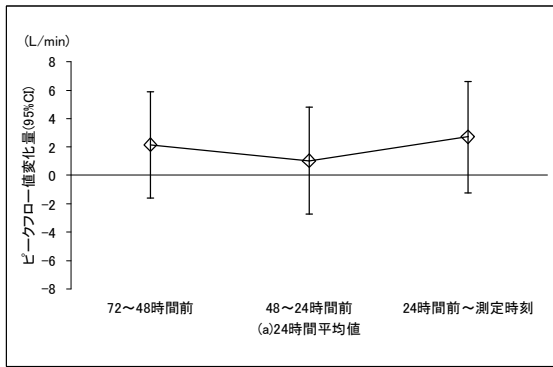


図 3.3.4-5 PM_{2.5}濃度10 μ g/m³あたりのピークフロー一値（午前5～11時測定）変化量（男子）
multi-pollutant modelにより、NO₂、Ox、身長、血清総IgE値、学校（千葉／船橋）、及び、気温を調整

図 3.3.4-6 PM_{2.5}濃度10 μ g/m³あたりのピークフロー一値（午前5～11時測定）変化量（女子）
multi-pollutant modelにより、NO₂、Ox、身長、血清総IgE値、学校（千葉／船橋）、及び、気温を調整

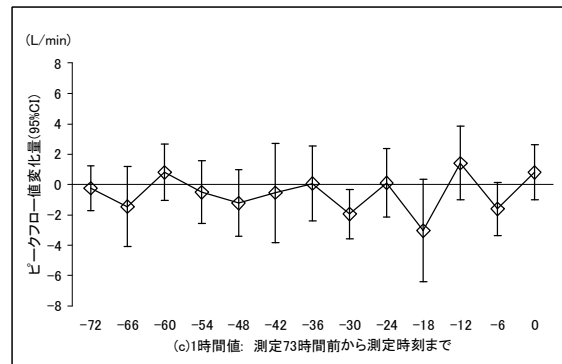
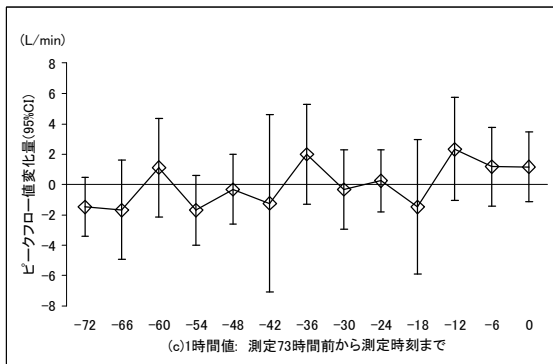
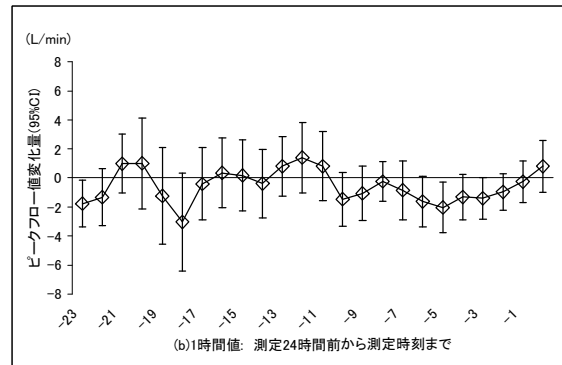
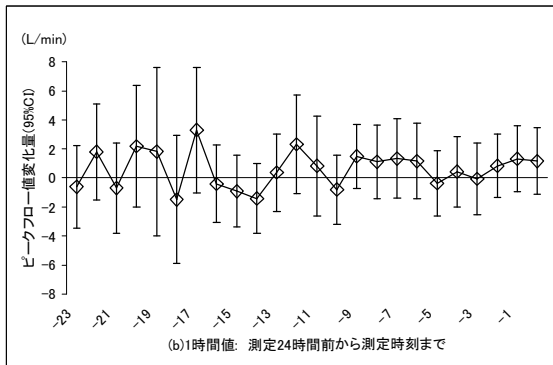
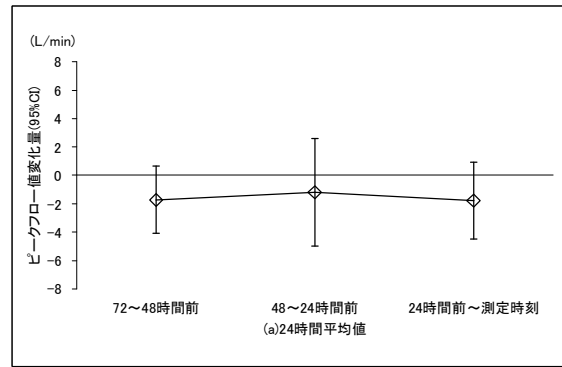
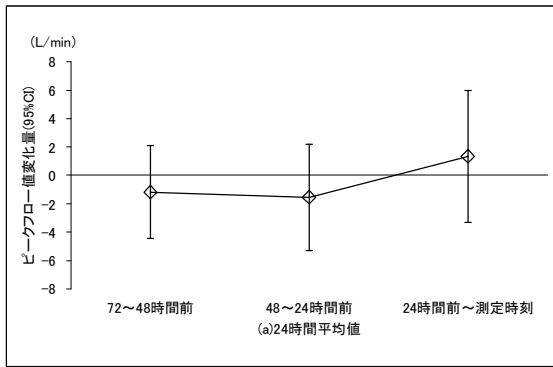


図 3.3.4-7 PM_{2.5}濃度10μg/m³あたりのピークフロー一値（午後5～11時測定）変化量（男子）
multi-pollutant modelにより、NO₂、Ox、身長、血清総IgE値、学校（千葉/船橋）、及び、気温を調整

図 3.3.4-8 PM_{2.5}濃度10μg/m³あたりのピークフロー一値（午後5～11時測定）変化量（女子）
multi-pollutant modelにより、NO₂、Ox、身長、血清総IgE値、学校（千葉/船橋）、及び、気温を調整

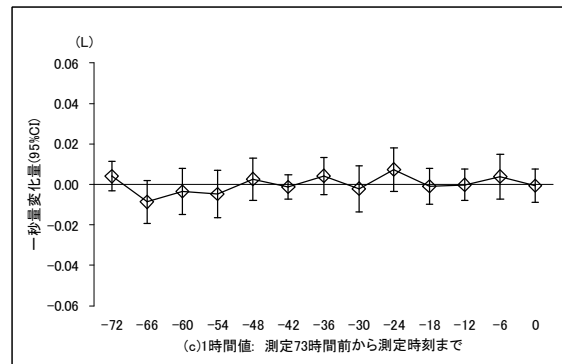
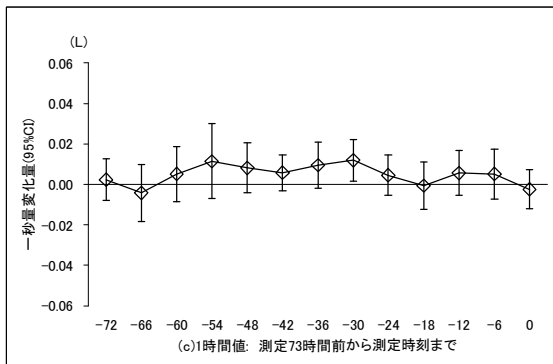
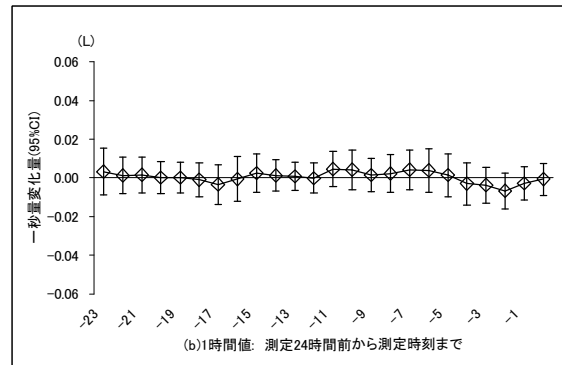
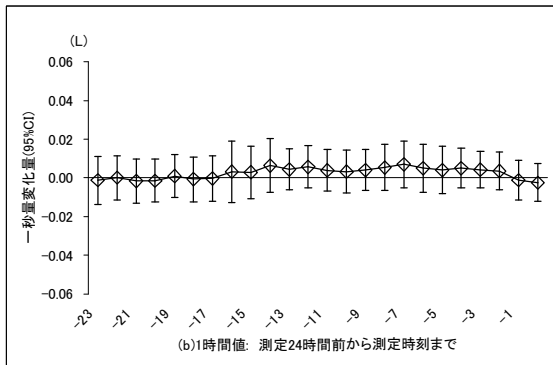
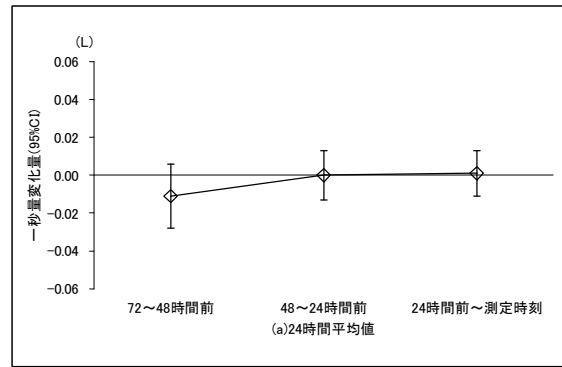
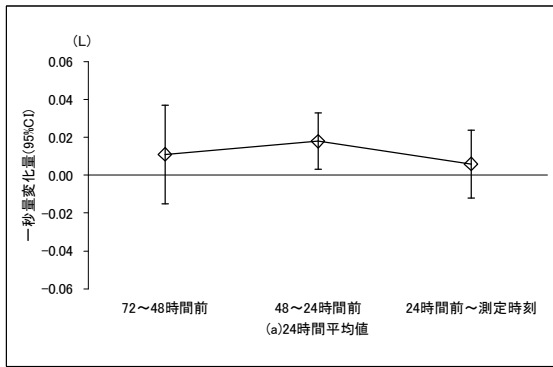


図 3.3.4-9 PM_{2.5} 濃度 10 μ g/m³ あたりの一秒量 (午前5~11時測定) 変化量 (男子)
single-pollutant model により、身長、血清総 IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

図 3.3.4-10 PM_{2.5} 濃度 10 μ g/m³ あたりの一秒量 (午前5~11時測定) 変化量 (女子)
single-pollutant model により、身長、血清総 IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

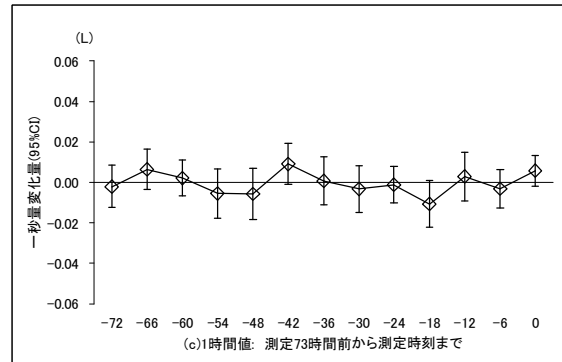
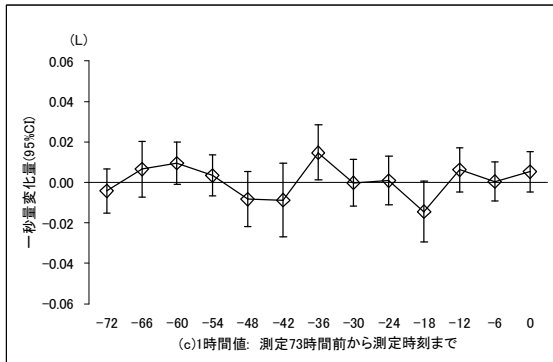
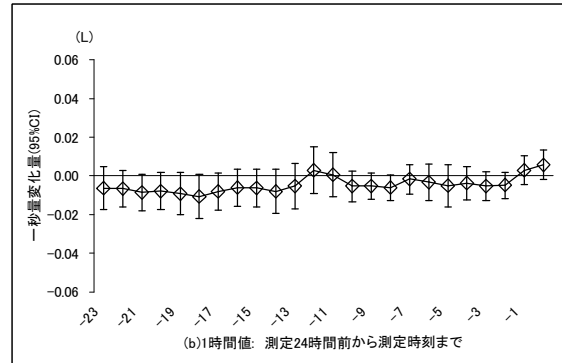
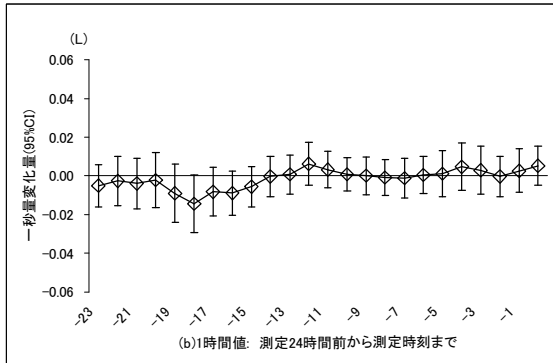
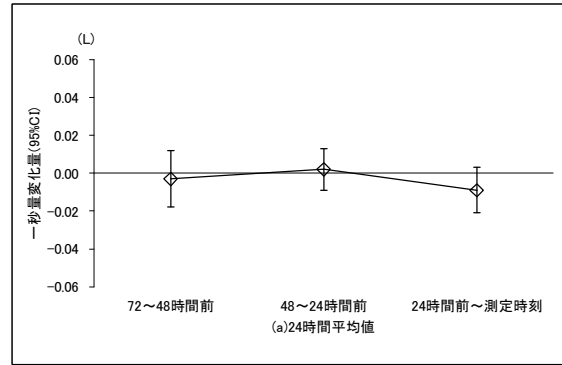
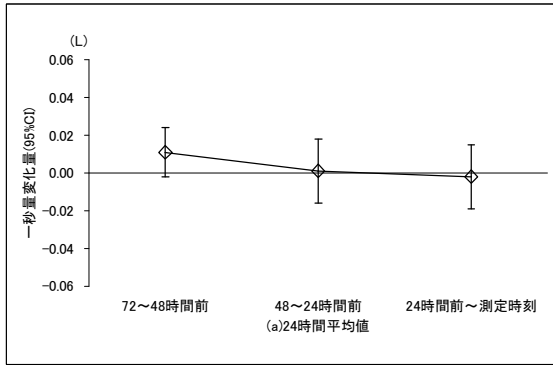


図 3.3.4-11 PM_{2.5}濃度 10 μ g/m³あたりの一秒量 (午後5~11時測定) 変化量 (男子)
single-pollutant model により、身長、血清総 IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

図 3.3.4-12 PM_{2.5}濃度 10 μ g/m³あたりの一秒量 (午後5~11時測定) 変化量 (女子)
single-pollutant model により、身長、血清総 IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

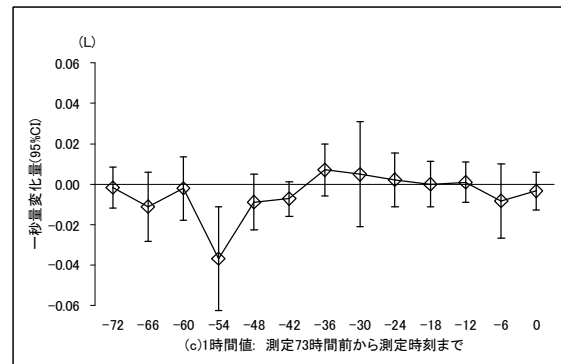
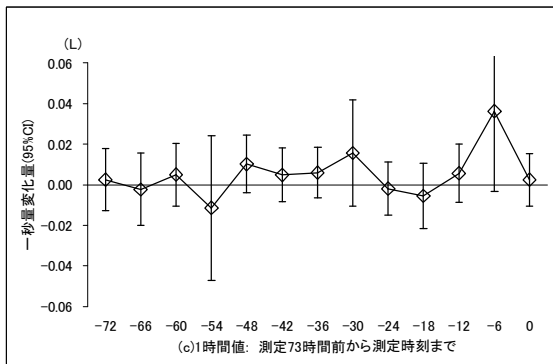
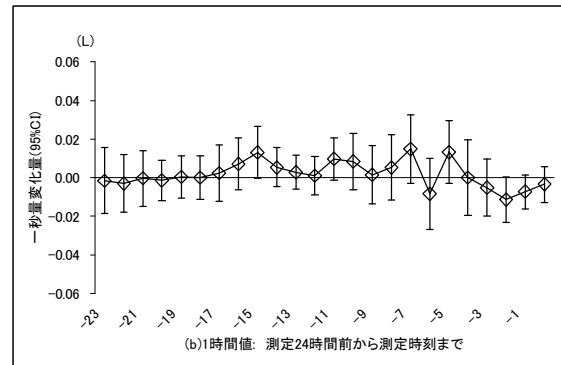
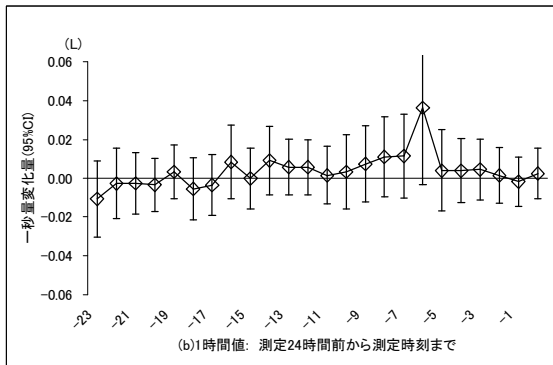
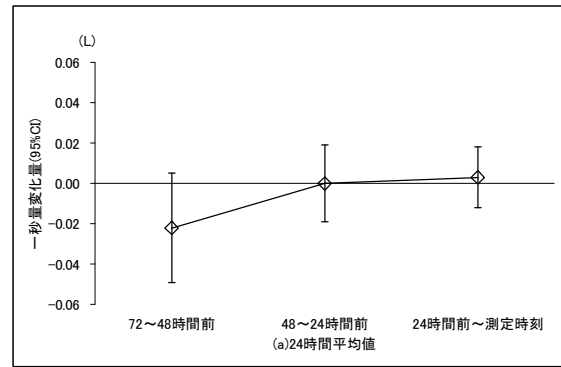
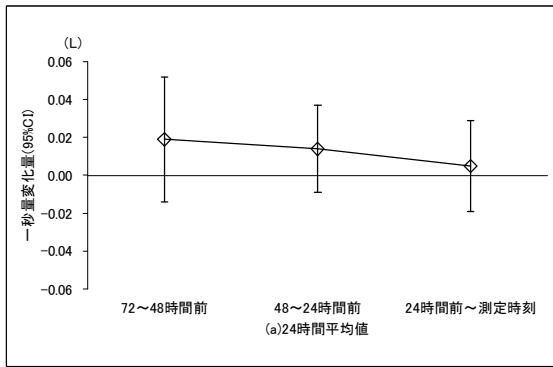


図 3.3.4-13 PM_{2.5}濃度 10 μ g/m³あたりの一秒量 (午前5~11時測定) 変化量 (男子)
multi-pollutant modelにより、NO₂、Ox、身長、血清総IgE値、学校(千葉/船橋)、及び、気温を調整

図 3.3.4-14 PM_{2.5}濃度 10 μ g/m³あたりの一秒量 (午前5~11時測定) 変化量 (女子)
multi-pollutant modelにより、NO₂、Ox、身長、血清総IgE値、学校(千葉/船橋)、及び、気温を調整

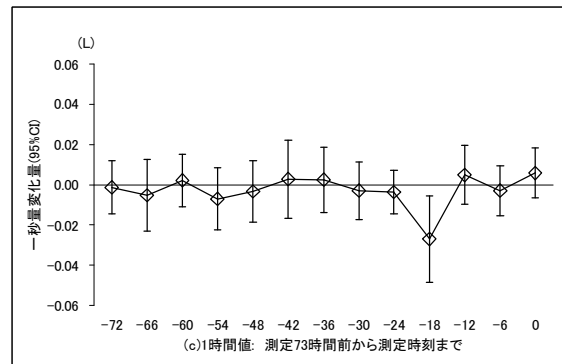
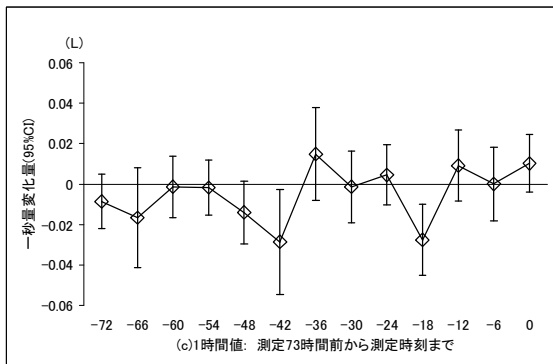
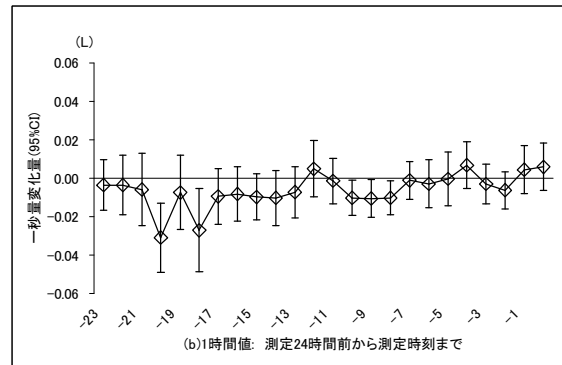
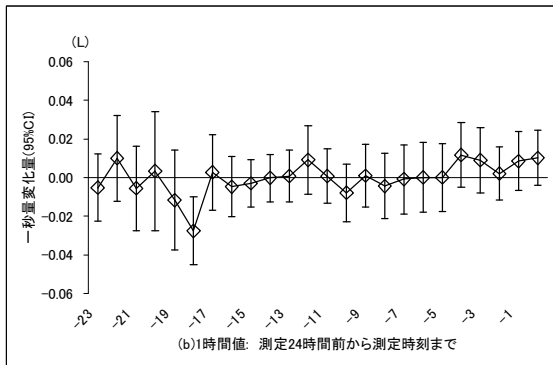
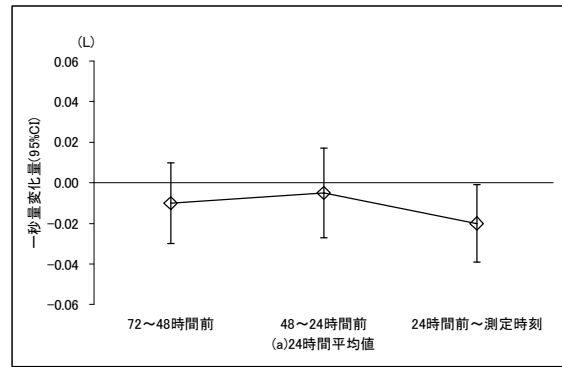
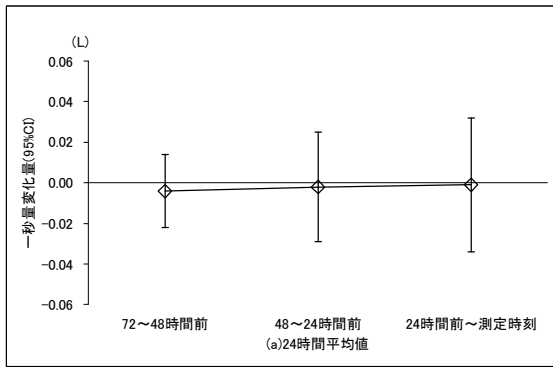


図 3.3.4-15 PM_{2.5}濃度 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ あたりの一秒量 (午後5~11時測定) 変化量 (男子)
multi-pollutant modelにより、NO₂、Ox、身長、血清総 IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整

図 3.3.4-16 PM_{2.5}濃度 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ あたりの一秒量 (午後5~11時測定) 変化量 (女子)
multi-pollutant modelにより、NO₂、Ox、身長、血清総 IgE 値、学校 (千葉/船橋)、及び、気温を調整