

興行場における衛生的な環境確保のための研究
国内興行場内の微生物実態調査

研究分担者 柳 宇 工学院大学 建築学部 教授

研究要旨

映画館内の浮遊粒子状物質濃度の実態を把握するために、4D 映画上映時における室内粒径別浮遊粒子濃度、浮遊細菌と真菌濃度、落下細菌と真菌量の実測と分析を行った。

浮遊粒子濃度について、これまで興行場における測定報告は殆どない。これまでに行っているオフィスの浮遊粒子濃度の測定結果と比較すると、オフィスと同等かそれ以下になっている。

落下細菌と真菌の測定方法について、短時間の測定で得られた結果では、落下細菌と真菌数はその時の空気中の浮遊細菌と浮遊真菌濃度との間に殆ど相関がない。本研究で測定した落下細菌・真菌と浮遊細菌・真菌の間、または粒径別浮遊粒子濃度との間に相関関係が認められないのはそのためであると考えられる。映画上映中に浮遊細菌と浮遊真菌の測定が望ましいが、できなければ、 $\geq 2\mu\text{m}$ と $\geq 5\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度の測定値から浮遊細菌と浮遊真菌濃度を推測方法について検討する必要がある。一方、引き続き落下細菌と真菌のデータを蓄積し、それによる映画館内の微生物汚染評価の可能性について検討することも重要である。

本報でまとめたデータは、事例的であり、上映中の室内の浮遊細菌と浮遊真菌濃度を代表できるものではないため、今後測定方法を含めた検討が必要である。また、落下菌による映画館内微生物汚染評価の可能性については、検討する必要がある。

A. 研究目的

本分担研究では、映画館内の浮遊粒子状物質濃度の実態を把握するために、4D 映画上映時における室内粒径別浮遊粒子濃度、浮遊細菌と真菌濃度、落下細菌と真菌量の実測を行った。

B. 研究方法

2022 年に映画館 A、映画館 B を対象に測定を行った。映画館 A においては、4D 映画 6 回上映中に落下細菌と真菌（曝露時間 5 分）、上映入れ替えの時間帯に浮遊細菌と浮遊真菌を測定した。映画館 B においては、4D 映画 5 回上映開始時に落下細菌と落下真菌の曝露時間を 1 時間とし、同時時間帯に粒径別浮遊粒子濃度の測定を行った。ま

た、映画館 A と同様に上映入れ替えの時間帯に浮遊細菌と浮遊真菌を測定した。

細菌の培養に SCD 培地、真菌の培養に PDA（映画館 A）と DG18 培地（映画館 B）を用いた。細菌と真菌の培養温度と期間はそれぞれ 32°C の 2 日間と 25°C の 5 日間であった。浮遊粒子に粒径 6 段（ $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$, $0.5\sim 0.7\mu\text{m}$, $0.7\sim 1.0\mu\text{m}$, $1.0\sim 2.0\mu\text{m}$, $2.0\sim 5.0\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}\sim$ ）のパーティクルカウンタを用いた。測定箇所はスクリーン最前列と最後列の座席 2 か所であった。

C. 研究結果および考察

C1. 映画館 A

映画館 A では、落下細菌が検出されたのは 2 回目上映中（ $1\text{cfu}/(5\text{分}\cdot\text{皿})$ ）と 3 回目上映中（ $1\text{cfu}/(5$

分・皿)であった。浮遊細菌が4回目上映中では検出されなかった。ほかの5回上映中の浮遊細菌濃度を表1に示す。日本建築学会のオフィスビル室内浮遊細菌管理基準値の500cfu/m³よりはるかに低いことが分かった。

落下真菌と浮遊真菌については、検出されたのは3回目上映中アオカビのみであった(1cfu/(5分・皿))。

C2. 映画館 B

(1) 細菌

落下細菌数を図1に示す。2回目上映中の後方は31cfu/(皿・h)であり、他は12cfu/(皿・h)以下であった。落下細菌の基準はないが、1962年の渡辺ら(1)の冬期測定値の48~188cfu(衛生試験法)より少なかった。

浮遊細菌濃度を図2に示す。映画館の浮遊細菌濃度に関する基準値はないが、ここでは参考まで日本建築学会のオフィスビルの管理基準の500cfu/m³との比較を行う。その基準値を超えたのは1回目上映後の前方(1720 cfu/m³)、3回目上映後の前方(1010 cfu/m³)、4回目上映後の後方(4290 cfu/m³)であった。室内細菌の主な発生源は在室であることが知られているが、5回上映中の在室者数それぞれ16人、56人、20人、22人、14人であり、在室者数と浮遊細菌濃度の間に相関関係が認められなかった。それは、人数だけではなく、人のアクティビティーにも関係すると考えられる。

(2) 真菌

落下真菌数を図3に示す。4回目の上映のみが検出され、その数も非常に少なかった。真菌の主な発生源は外気の侵入によるもので、上映中の室内空気中の真菌が空調機に備えられている中性性能フィルタによって殆どろ過されたと考えられる。

図4に浮遊真菌濃度を示す。*Cladosporium*(クロカビ)、*Yeast*(酵母)、*Aspergillus*(コウジカビ)、*Penicillium*(アオカビ)、*Mycelium*(胞子形成しないカビ)が検出された。映画館の浮遊真菌濃度に関する基準値はないが、ここで参考まで

日本建築学会のオフィスビル室内管理基準の50cfu/m³との比較を行う。その基準値を超えたのは2回目上映後(80cfu/m³)と3回目上映後(100cfu/m³)であった。浮遊微生物の測定は上映入れ替えの時間帯に行っていたため、人の出入りによるドアからの侵入があったものと考えられる。

(3) 粒径別浮遊粒子濃度

5回上映中における浮遊粒子濃度の経時変化を図5~図13に示す。1回目の上映中は前方のみを測定したが、2回目以後は後方の測定を追加した。図中の矢印はエフェクトのある時刻を示している。また、上映1と2は同じ映画、上映3~5は別の同じ映画であった。

1回目の上映後に粒径別浮遊粒子濃度がほぼ指数関数で減衰しており、空調機内のフィルタによるろ過効果が確認された。エフェクトがある時刻には粒子濃度の粒径別浮遊粒子濃度の上昇がみられた。

2回目の上映後に、エフェクトのある時刻に粒径別浮遊粒子濃度の上昇は1回目より顕著であった。また、エフェクトがある時刻に $\leq 1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度と $\geq 1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度の顕著な上昇がみられた。

3~5回目の上映中の $\leq 1\mu\text{m}$ と $\geq 1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度は減衰するのがあれば、ほぼ横ばいのみみられた。また、エフェクトによる粒子濃度の変化は上映1と上映2のほどではなかった。これは、エフェクトが異なっていたためと考えられる。

浮遊粒子濃度について、これまで興行場における測定報告は殆どない。ここでは、柳らが²⁾行ったオフィスビルの測定結果との比較を行う。オフィスビルでは、0.3~0.5 μm は106p/L、0.5~1.0 μm は105p/L、1~2 μm は103p/L、2~5 μm は101~2p/L、5 μm ~は100.1~2p/Lであった。本調査の結果では、オフィスと同等かそれ以下になっている。

図14~図19に上映1~5における各粒径の四等分値を示す。上映1中の粒径別浮遊粒子濃度は最も高い値を示した。上映4中の0.3~0.5 μm の

浮遊粒子濃度は上映 1 と同程度であった。0.5 μm 以上の粒径別浮遊粒子濃度は全 5 回の上映中に同程度であった。

また、5 回上映の全ては後方より前方の濃度は高かった。映画館の還気は前方にあるスクリーンの下部にある空間を経由するため、後方より前方の濃度が高くなったと推察される。

D. 考察

D1. 落下細菌と真菌の測定方法について

浮遊粒子の室内空中での滞留時間はその粒子の終末沈降速度（以後沈降速度と略す）と、室内気流の速度と方向によって決まる。浮遊粒子の沈降速度を下記の式（1）に示す。

$$v = \frac{gD_p^2\rho_p}{18\mu} \quad (1)$$

v : 週末沈降速度 [cm/s]

g : 重力加速度 [cm/s²]

ρ_p : 粒子の密度 [g/cm³]

μ : 空気の粘度 [g/(cm·s)]

ここでは粒子の密度を 1g/cm³ と仮定し、式(1)から求めた沈降速度と無風状態での 1.5m を落下するのに所要時間を図 20 に示す³⁾。粒径 10μm 以下の粒子は無風状態で室内に長時間浮遊することが分かる（1μm:14.4h; 5μm:35min; 10μm:9min）。また、10μm 以下の粒子の沈降速度は 0.3cm/s (0.003m/s) 以下であり、空調・換気設備が運転する室内の気流によって容易に遠くまで（最終は還気口）運ばれるため、短時間の測定で得られた結果では、落下細菌と真菌数はその時の空気中の浮遊細菌と浮遊真菌濃度との間に殆ど相関がない。本研究で測定した落下細菌・真菌と浮遊細菌・真菌の間、または粒径別浮遊粒子濃度との間に相関関係が認められないのはそのためであると考えられる。落下細菌・真菌と浮遊細菌・真菌の間に相関関係にないことが柳らによって実証されている⁴⁾。

また、柳らは、6 病院、1 オフィス、1 住宅におけるバイオ粒子と非バイオ粒子の関係を実証

した結果、パーティクルカウンタによる測定した 1μm 以上、2μm 以上、5μm 以上の浮遊粒子濃度の測定値からバイオ粒子濃度を推測できることを示唆している⁵⁾。さらに、柳が行った実証試験では、浮遊細菌と浮遊真菌はそれぞれ $\geq 2\mu\text{m}$ と $\geq 5\mu\text{m}$ 以上の浮遊粒子濃度の間に有意な相関関係にあることを報告している⁶⁾。従って、映画上映中に浮遊細菌と浮遊真菌の測定が望ましいが、できなければ、 $\geq 2\mu\text{m}$ と $\geq 5\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度の測定値から浮遊細菌と浮遊真菌濃度を推測方法について検討する必要がある。一方、引き続き落下細菌と真菌のデータを蓄積し、それによる映画館内の微生物汚染評価の可能性について検討することも重要である。

D2. 浮遊細菌・真菌について

今回の測定は映画上映入れ替えの時間帯に行ったため、浮遊細菌濃度と浮遊真菌濃度はドアの開放状況および人の出入り頻度に影響される。今後の調査時に測定方法や測定タイミングを検討する必要があると考えられる。

E. 結論

本研究より、下記の事柄が明らかになった。

- ① 上映の入れ替えの時間帯、即ち、人の動きが多い時間帯に測定した浮遊細菌濃度と真菌濃度は低い値が多くみられたが、オフィスの 500cfu/m³（参考基準）を超えたのもあった。
- ② 上記の浮遊細菌と浮遊真菌濃度は上映中の室内濃度を代表できるものではないため、今後測定方法を含めた検討が必要である。
- ③ 落下菌による映画館内微生物汚染評価の可能性について検討する必要がある。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

<参考文献>

- 1) 渡辺弘ら, 映画館の空気性状, 生活衛生 6-2, 62-68, 1962.
- 2) 柳 宇, 三浦 邦夫, 入江 建久, 池田 耕一, 空調ダクト内付着粒子状物質の挙動と制御に関する研究, 空気調和・衛生工学会 論文集, Vol.27, No.86, 97-105, 2022.
- 3) 柳 宇, ウイルス感染拡大を抑えるために設備技術者ができることー感染とその制御, BE 建築設備, 第 71 巻, 第 7 号 (通巻第 834 号), 14-20, 2020.
- 4) 柳 宇, 高鳥浩介, 狩野文雄, 横地明, 青山敏信, 池田耕一, 木ノ本雅通, 三上壮介, 山崎省二, クリーンルームの微生物汚染評価ー最終報告, 第 26 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, 248-51, 2008.
- 5) 柳 宇, 鍵直樹, 池田耕一, 室内環境における浮遊細菌濃度リアルタイム測定の可能性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.666, 673-677, 2011. doi: 10.3130 /aije.76.673.
- 6) 柳宇, 池田耕一, 空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究, 第 2 報ーエアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集率とその評価. 日本建築学会環境系論文集, No.617, 53-56, 2007. doi: 10.3130 /aije.72.53_3.

表 1 映画館 A の浮遊細菌濃度

	曝露時間	細菌数	濃度[cfu/m ³]
1回目上映	09:35~10:00	19	8
2回目上映	12:45~13:20	11	3
3回目上映	15:05~15:40	5	1
5回目上映	20:45~21:10	12	5
6回目上映	23:55~24:00	13	26

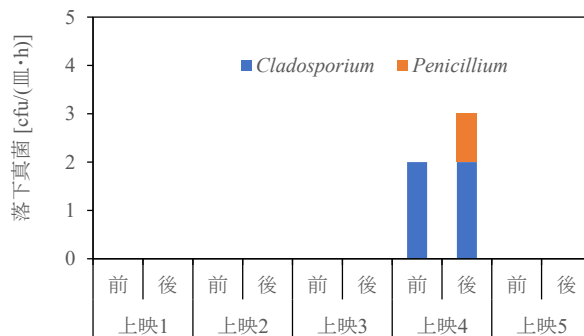


図 3 落下真菌数

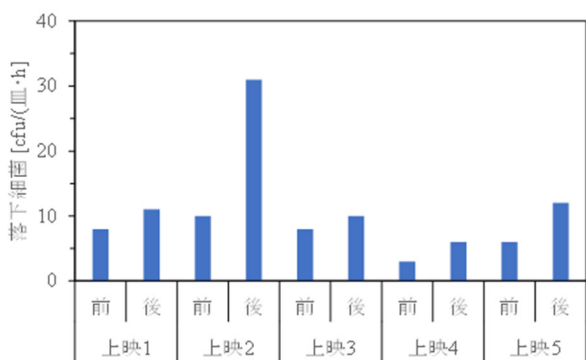


図 1 落下細菌数

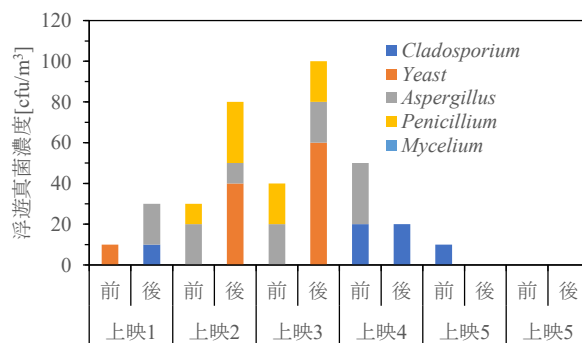


図 4 遊真菌濃度

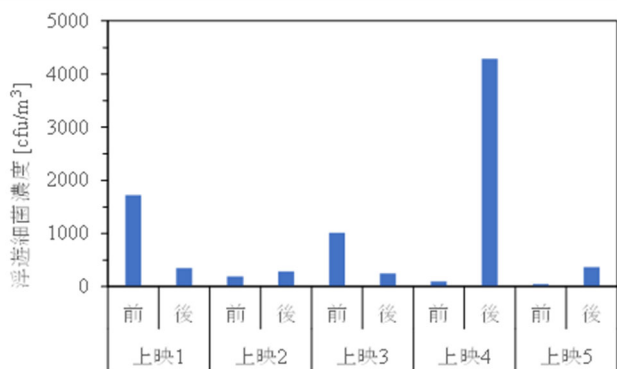
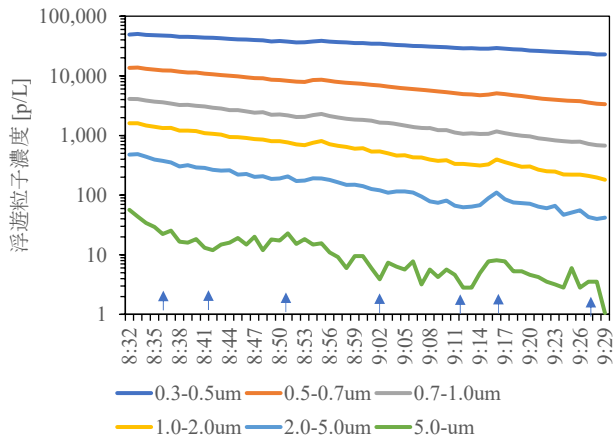
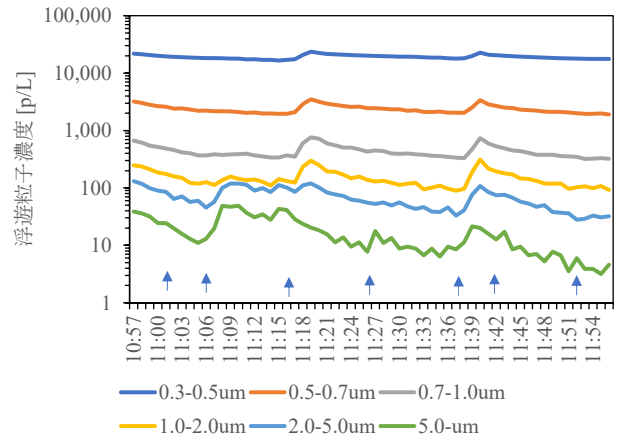


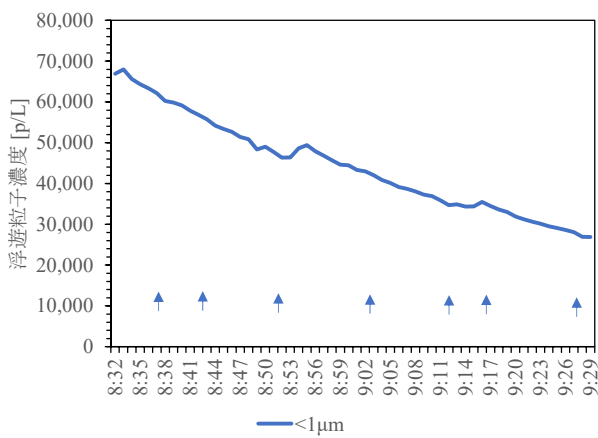
図 2 浮遊細菌濃度



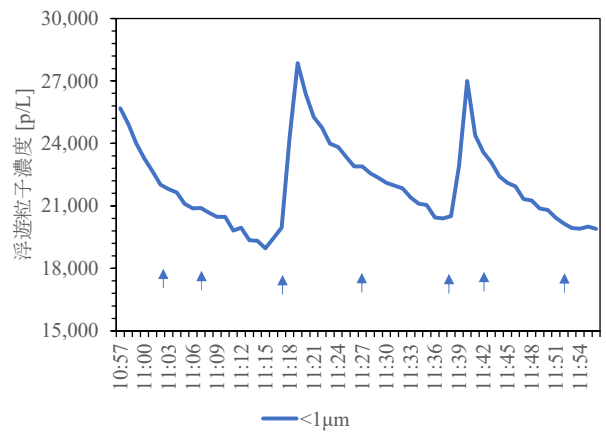
a. 粒径別浮遊粒子濃度



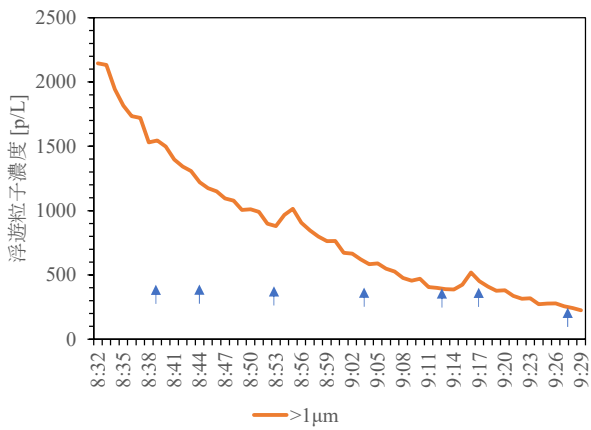
a. 粒径別浮遊粒子濃度



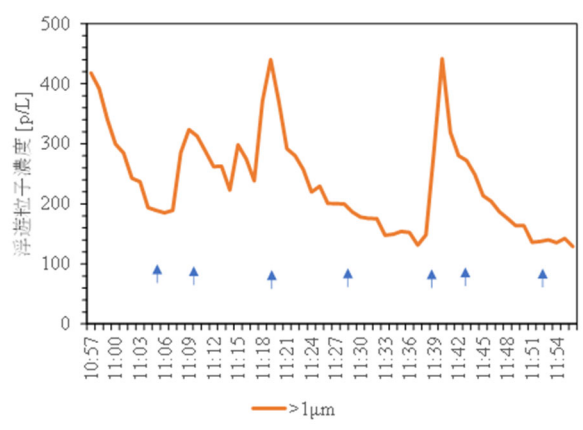
b. $\leq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



b. $\leq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



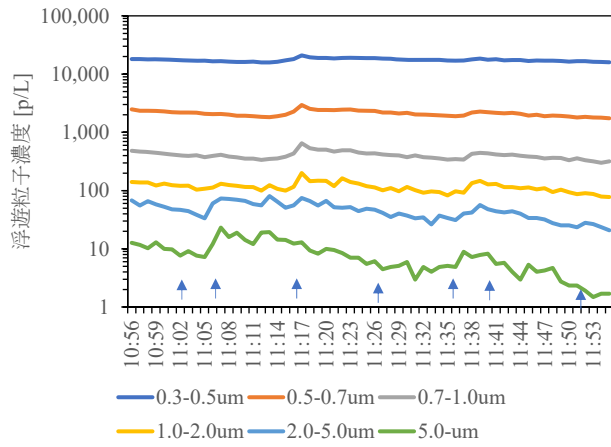
c. $> 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



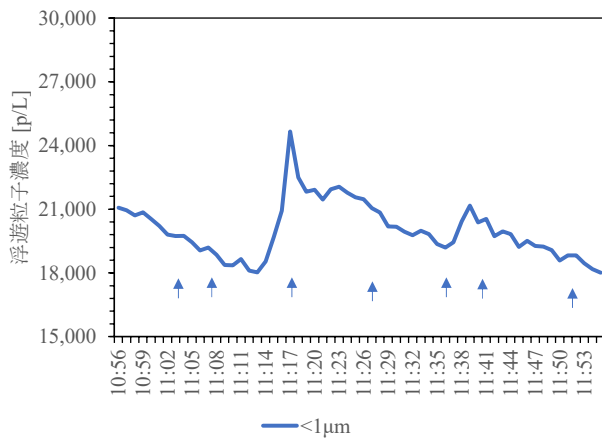
c. $> 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度

図 5 浮遊粒子濃度の経時変化
(上映 1、前)

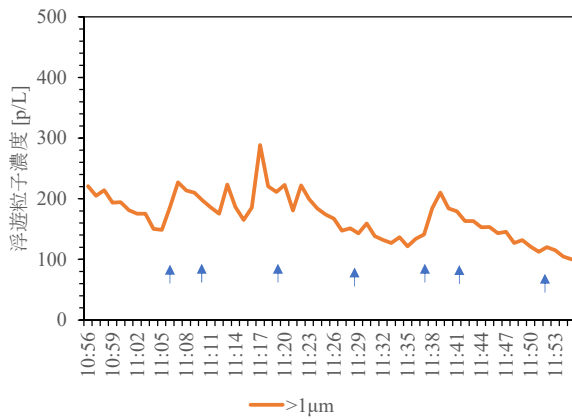
図 6 粒径別浮遊粒子濃度の経時変化
(上映 2、前)



a. 粒径別浮遊粒子濃度

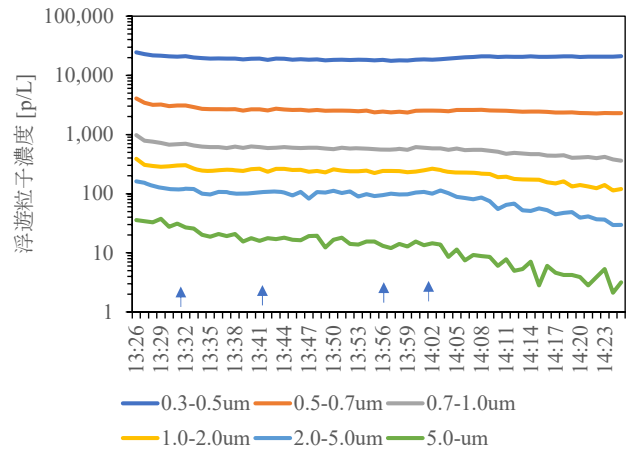


b. $\le 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度

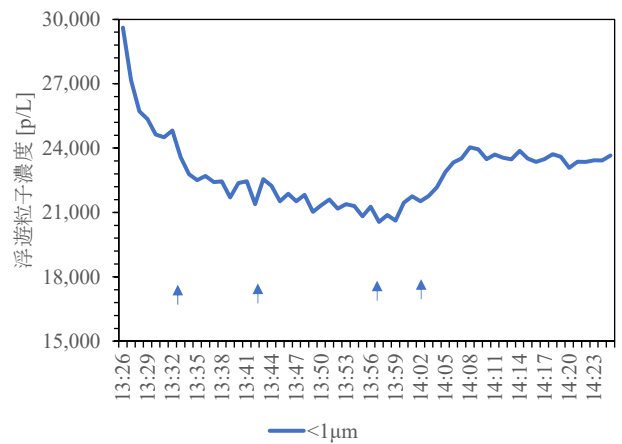


c. $\ge 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度

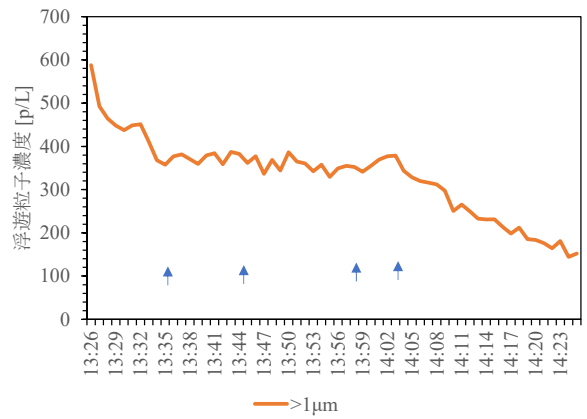
図7 粒径別浮遊粒子濃度の経時変化
(上映 2、後)



a. 粒径別浮遊粒子濃度

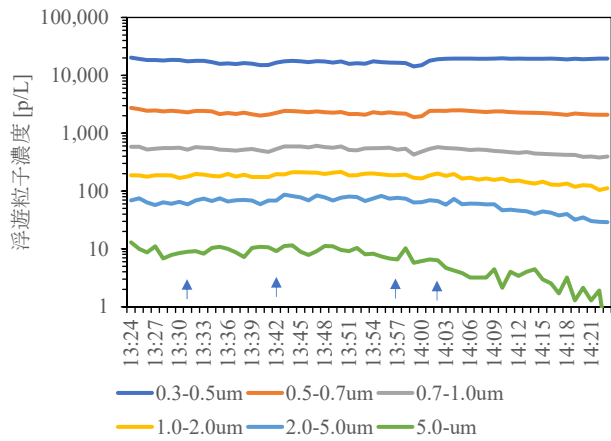


b. $\le 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度

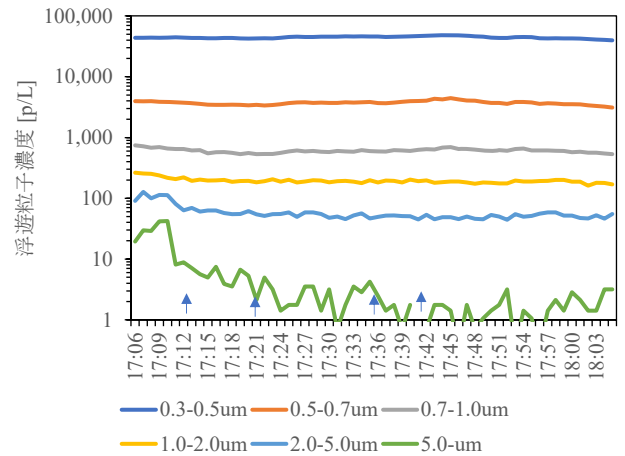


c. $\ge 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度

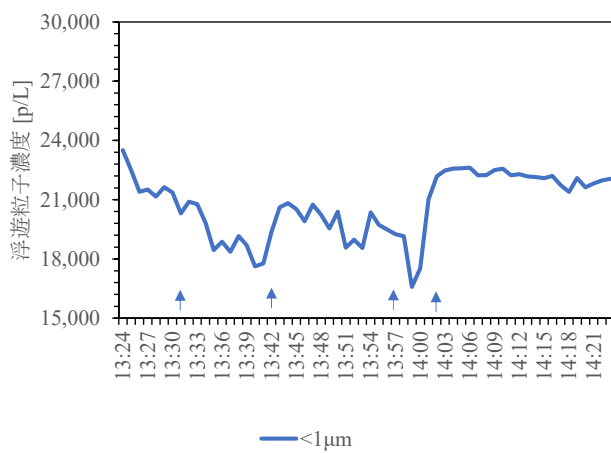
図8 粒径別浮遊粒子濃度の経時変化
(上映 3、前)



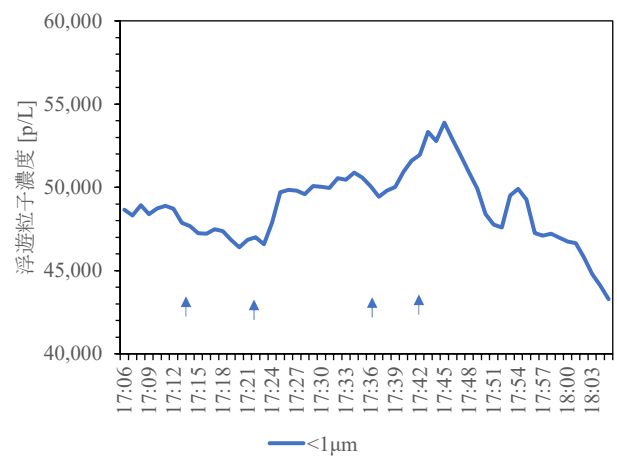
a. 粒径別浮遊粒子濃度



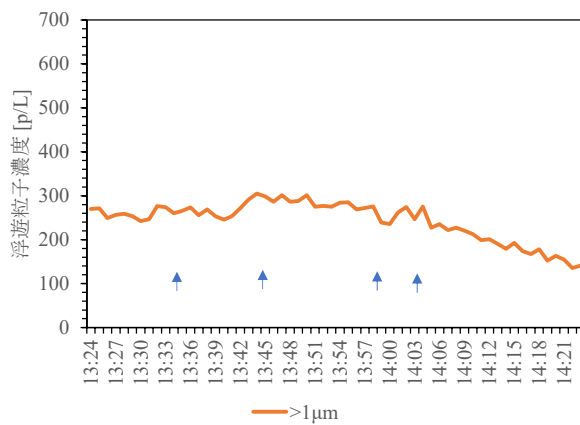
a. 粒径別浮遊粒子濃度



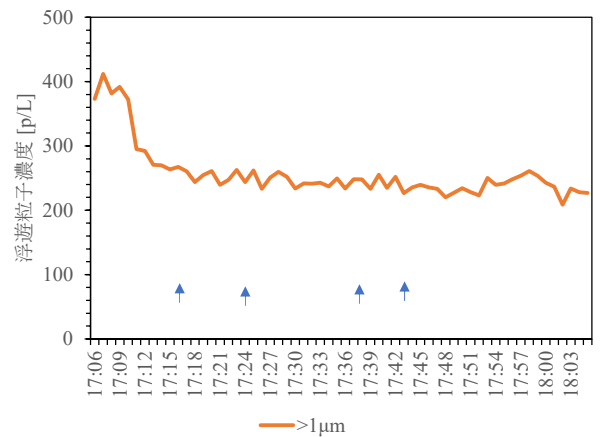
b. $\leq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



b. $\leq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



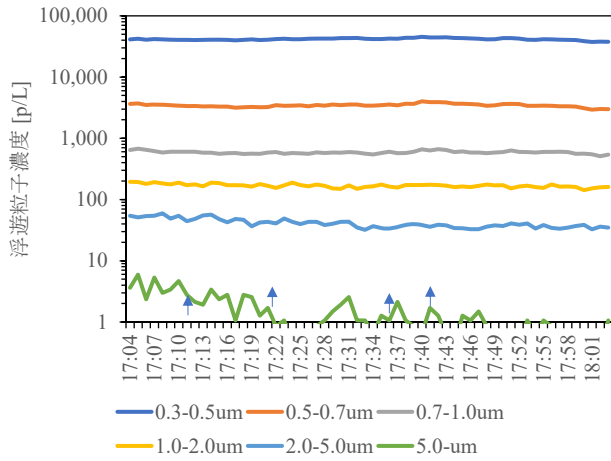
c. $\geq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



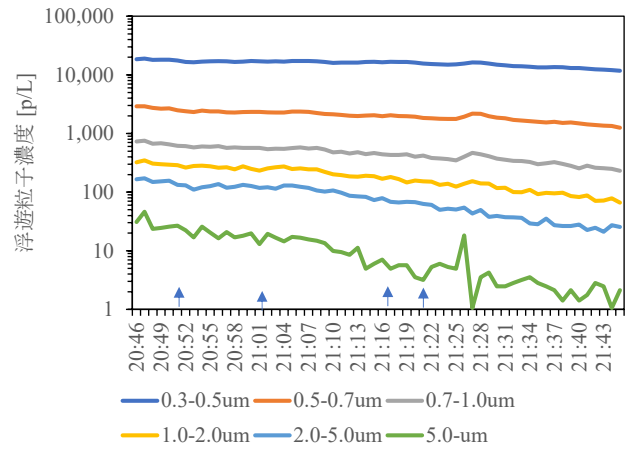
c. $\geq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度

図9 粒径別浮遊粒子濃度の経時変化
(上映3、後)

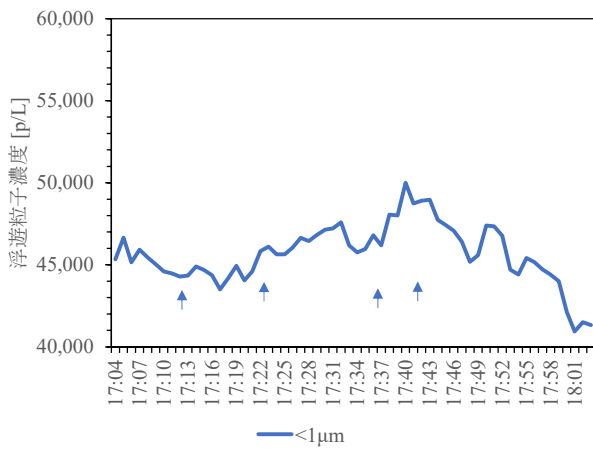
図10 粒径別浮遊粒子濃度の経時変化
(上映4、前)



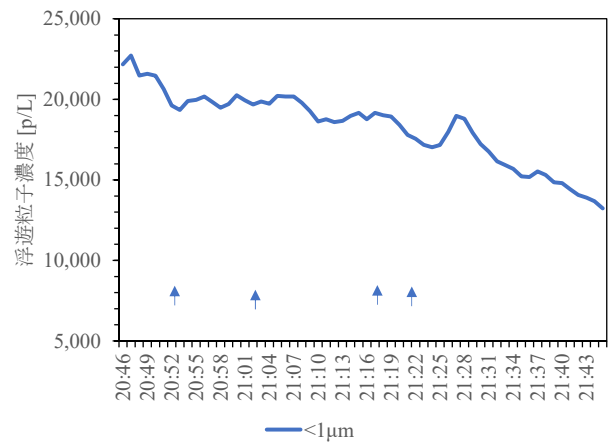
a. 粒径別浮遊粒子濃度



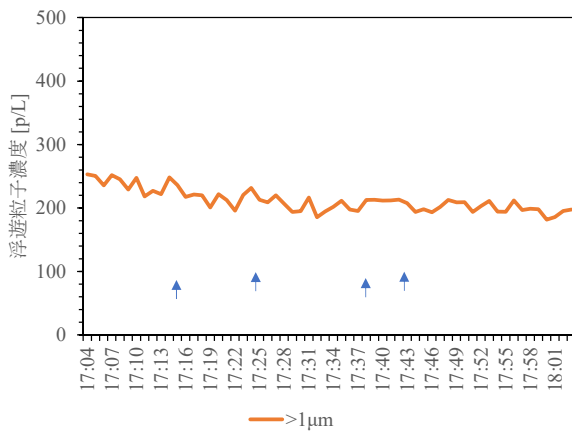
a. 粒径別浮遊粒子濃度



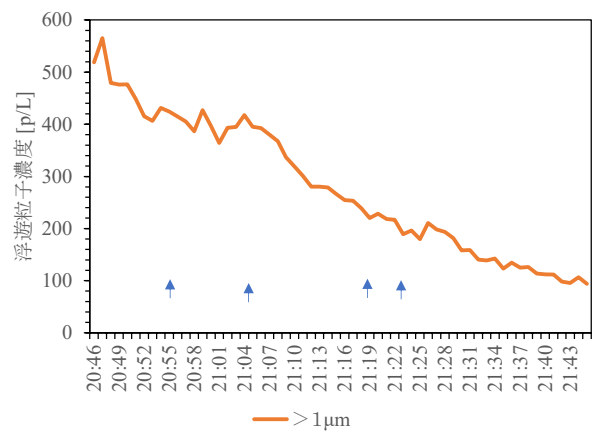
b. $\leq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



b. $\leq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



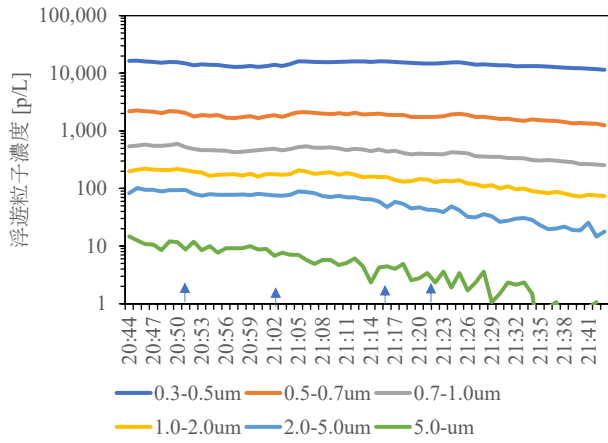
c. $\geq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



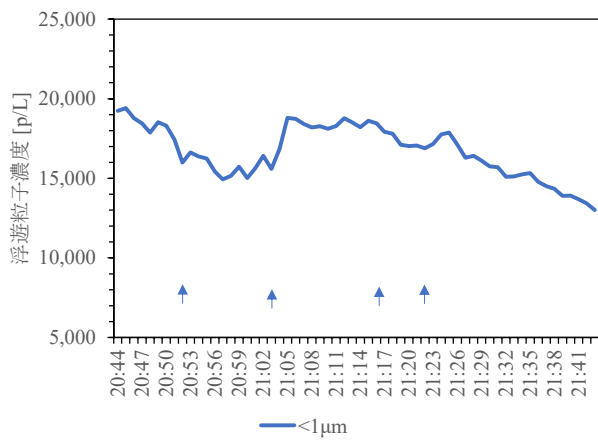
c. $\geq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度

図 11 粒径別浮遊粒子濃度の経時変化
(上映 4、後)

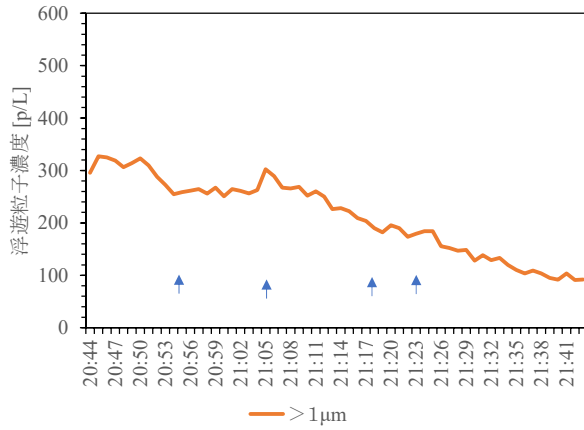
図 12 粒径別浮遊粒子濃度の経時変化
(上映 5、前)



a. 粒径別浮遊粒子濃度



b. $\leq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度



c. $\geq 1\mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度

図 13 粒径別浮遊粒子濃度の経時変化
(上映 5、後)

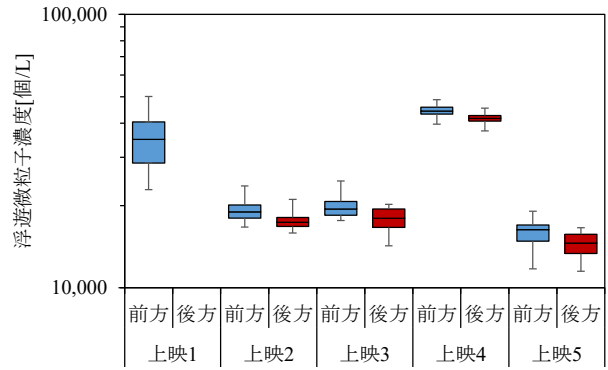


図 14 浮遊粒子濃度の四等分値比較
(0.3~0.5 μm)

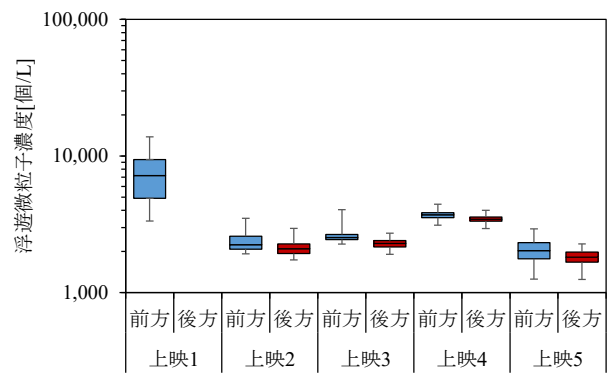


図 15 浮遊粒子濃度の四等分値比較
(0.5~0.7 μm)

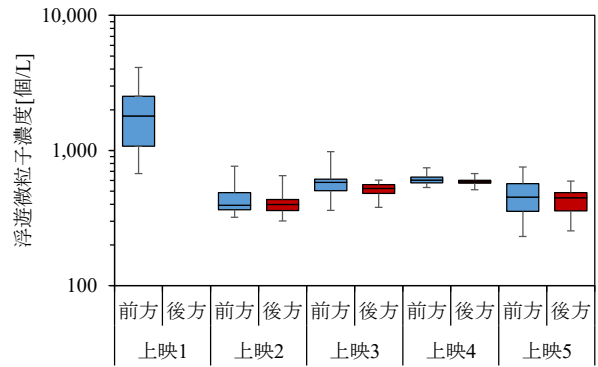


図 16 浮遊粒子濃度の四等分値比較
(0.7~1.0 μm)

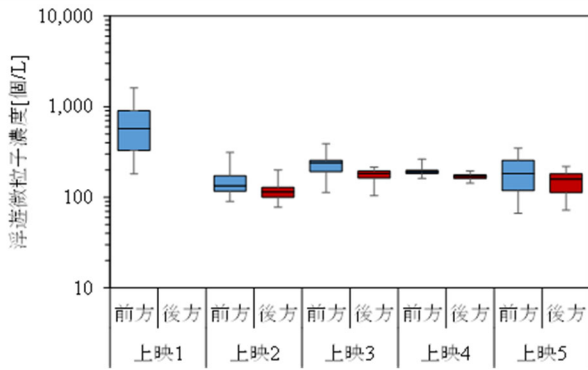


図 17 浮遊粒子濃度の四等分値比較
(1.0~2.0μm)

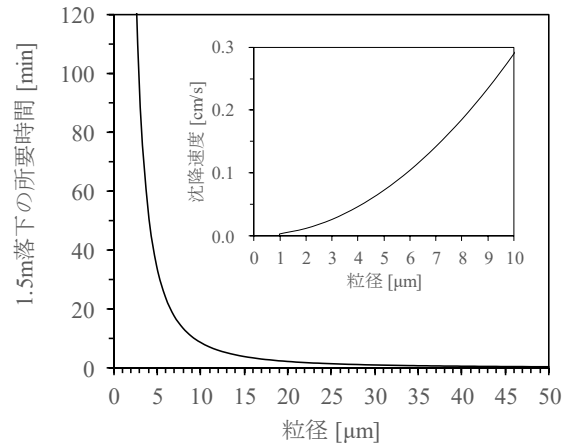


図 20 浮遊粒子の沈降特性

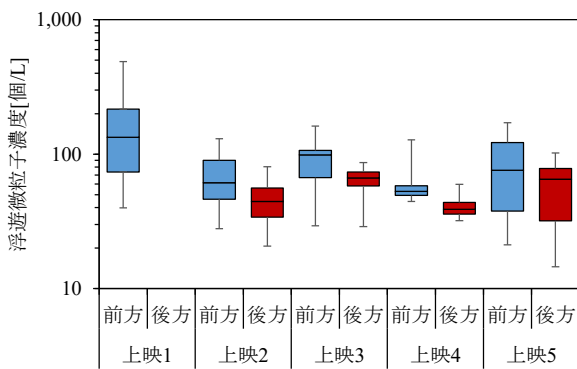


図 18 浮遊粒子濃度の四等分値比較
(2.0~5.0μm)

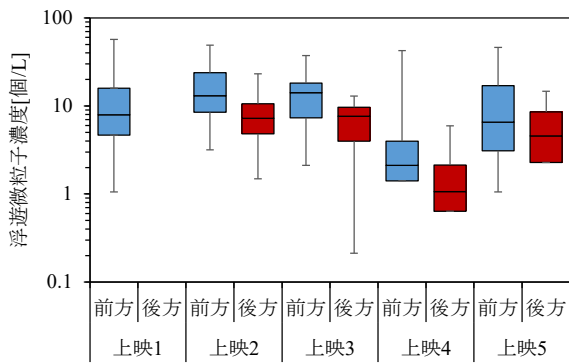


図 19 浮遊粒子濃度の四等分値比較
(5.0μm~)

