

マスク着用の暑熱環境への適応に与える影響

Effects of wearing mask on face on adaptation of pedestrians to hot environment

奈良女子大学研究院生活環境科学系

Faculty of Human Life and Environment, Nara Women's University

吉田 伸治

Shinji Yoshida

キーワード：マスク (Mask)、暑熱環境 (Hot environment)、適応 (Adaptation)、
人体熱収支 (Heat budget in a human body)、実験 (Experiment)

1. はじめに

本年初頭より感染拡大が顕在化した新型コロナウイルスは、私たちの生活様式を大きく変化させている。この変化の主たるものとして感染対策のためのマスクの着用が挙げられ、この感染防止の対策の効果の調査・分析が行われている^{文1,2)}。マスク着用の具体的な効果としては、ウイルス感染者の咳等による飛沫の拡散抑制が最も期待される。ウイルス感染の被害の抑制の観点において、マスクの着用に大きな意味があることは疑いない。しかし、マスクの着用は、ウイルス以外に人体から呼吸に伴い周辺空気との間で交換される物質 (CO₂、酸素)、熱、湿気の拡散も抑制する。従って、マスクと口元間には多様な物質、熱が滞留する。特に、熱、湿気の滞留は、夏季の生活者の温熱快適性を悪化させ、熱中症の発症危険性が増加する可能性が指摘されている。しかし、この影響に関する詳しい検討は行われていないのが現状である。そこで本稿では、マスク着用による夏季の暑熱環境形成に与える影響を考えるための基礎資料を提供したい。

2. マスクが熱中症に与える影響として想定される項目の整理

2.1 マスク内に形成される物質、熱環境

マスクは、①ウイルス感染者の咳等により生じる飛沫の拡散抑制、②周辺空気中に漂うウイルスの呼吸を介しての体内への流入危険性の減少、を期待して着用される。これらのうち、後者については、ウイルスの大きさが花粉等の粒径よりもはるかに小さい点をふまえる場合、その効果は限定的であると考えられる。従って、マスクに期待できるのは前者の飛沫の拡散抑制と考えられる。

この点を踏まえて、マスク内に形成される熱・空気環境のイメージを図1に示す。マスクの装着の有無に関わらず、鼻・口付近の空気には①鼻または口呼吸による熱・物質の交換、②口付近の皮膚表面からの放射・対流・潜熱による熱・湿気交換に伴い、物質、顕熱、潜熱 (湿気) が供給される。マスク未装着の場合、これらは速やかに周辺空気へと拡散される。一方、マスク装着時の場合においては、これらの熱・物質はマスクと鼻・口表面に形成される空気層、マスク生地内に留まることになる。

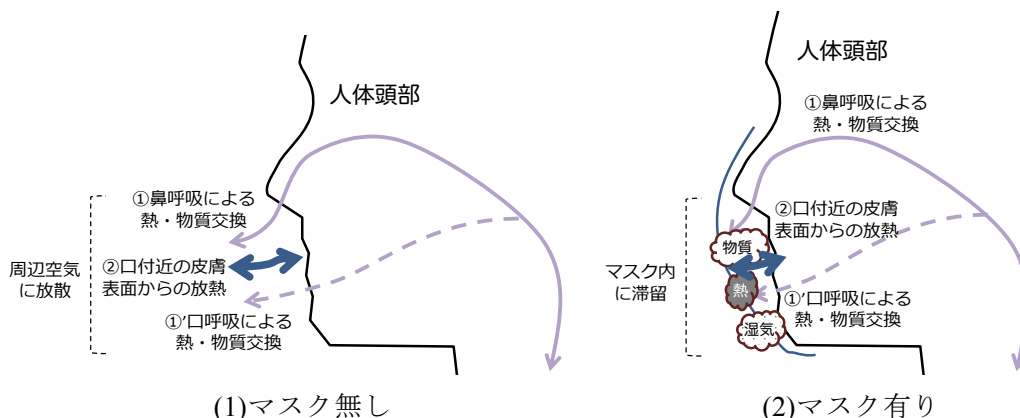


図1 マスク装着の有無と口周辺の物質・熱・湿気環境形成のイメージ

マスク装着時に生じる障害としては、まず、①空気抵抗としての作用に伴う呼吸活動の抑制に伴う肺への負荷の増加、②マスク内空気の CO₂ 濃度の増加に伴う肺への負荷の増加が挙げられる^{文2)}。加えて、マスク内における熱・湿気の滞留に伴う空気温度の昇温、絶対湿度の増加は、③呼吸に伴う人体から周辺空気への放熱の減少、④皮膚表面からの顕熱（放射・対流）、潜熱（湿気）の放散の減少に作用すると考えられる。次節では、これらの障害が人体熱収支に与える影響を考えたい。

2.2 マスクと人体熱収支

熱中症とは、暑熱環境に晒された人体の体温上昇、体温調節のための発汗に伴う体内水分の減少等により発症する。従って、熱中症は、人体と周辺環境との熱交換に基づく熱収支の影響を受けると考えられる。そこで、前節に挙げたマスク装着に伴い生じる可能性が懸念される障害を熱収支の観点から考えたい。

2.2.1 人体全身の熱収支

人体全身の熱収支は、以下の式によりモデル化される。

$$S = S_{cr} + S_{sk} = M + W + C + R + LE + Q_{RES} \quad (1)$$

$$S_{cr} = M + W - B - D + Q_{RES} \quad (2)$$

$$S_{sk} = C + R + LE + B + D \quad (3)$$

$$Q_{sk} = -\{(R + C) + LE\} \quad (4)$$

$$C + R = \alpha_t f_{cl} F_{cl} (OT - \theta_{sk}) \quad (5)$$

$$LE = \alpha_e f_{cl} F_{pcl} W_{sk} (pa - pSat_{sk}) \quad (6)$$

ここで、 S, S_{cr}, S_{sk} は、各々、人体全体、体心部（Core）、皮膚層（Skin）における蓄熱 [W/m²] を表す。 M は代謝量 [W/m²]、 W は外部仕事量 [W/m²] を表す。 C, R, LE は、各々、対流、放射、潜熱（蒸発）による周囲から人体皮膚表面への熱流入を表す [W/m²]。 Q_{RES} は呼吸に伴う人体体心部と周囲との熱交換 [W/m²] を表す。 B, D は、各々、血流、熱伝導による体心部から皮膚層への熱放散量 [W/m²] を、また Q_{sk} は皮膚表面からの全熱（顕熱+潜熱）の放散 [W/m²] を表す。 α は総合熱伝達率 [W/(m²K)]、 α_e は潜熱伝達率 [W/(m²kPa)]、 OT は作用温度 [°C]、 pa は空気の水蒸気分圧 [kPa]、 $pSat_{sk}$ は皮膚表面における飽和水蒸気圧 [kPa]、 f_{cl} は着衣面積係数、 F_{cl} は実質的な着衣の熱効率、 F_{pcl} は着衣の透湿効率である。上式において、 B, D, Q_{sk} 以外の熱収支に関わる諸量については、各層（Core, Skin）への蓄熱に寄与する熱移動を正とする。一方、 B, D については、Core 層から Skin 層への熱移動を正とし、 Q_{sk} は皮膚表面から周囲空間への放熱を正とする。

2.2.2 マスク装着が代謝熱に与える影響

マスク装着時に生じると懸念される障害①、②が熱収支に与える影響を考えたい。①、②に挙げた障害は肺への負担の増加である。これらは、生命活動維持のために不可欠な酸素の確保、CO₂ の速やかな体内からの排出の効率の低下を招くため、通常の呼吸時よりも多くの空気を吸引・排出する様な肺の動作が求められると考えられる。これらは代謝熱 M の増加に寄与すると推察される。

2.2.3 マスク装着が呼吸による熱放散に与える影響

次に、前節において3つ目の障害としてあげた「呼吸に伴う人体から周辺空気への放熱の減少」を考えたい。呼吸による熱交換は、(1)式内の Q_{RES} として考慮されており、これは次式の様定義される^{文3)}。

$$Q_{res} = C_{res} + E_{res} \quad (7)$$

$$C_{res} = 0.0014M(\theta_{ai} - 34) \quad (8)$$

$$E_{res} = 0.0173M(p_{ai} - 5.87) \quad (9)$$

ここで、 C_{res}, E_{res} は呼吸による各々顕熱、潜熱による熱交換を表し、 θ_{ai}, p_{ai} は呼吸で吸引される空気の色度、水蒸気圧を表す。また、これらの式は体内への熱流入を正として表したものであるため、負値の場合に放熱を表すこととなる。マスク内の空気温度の昇温、絶対湿度の増加は、 θ_{ai} の昇温、 p_{ai} の増加に寄与するため、 C_{res}, E_{res} の絶対値の減少に寄与するものと予想される。

以上の様にマスク内の空気温度の昇温、絶対湿度の増加は、呼吸による放熱の減少に作用すると予想される。しかし、筆者はこの人体全身の熱収支に与える影響は小さいと予想される。その根拠として、図2に Two-node モデルを用いて算出された多様な温熱環境下における人体熱収支を比較したものを示す^{文4)}。こ

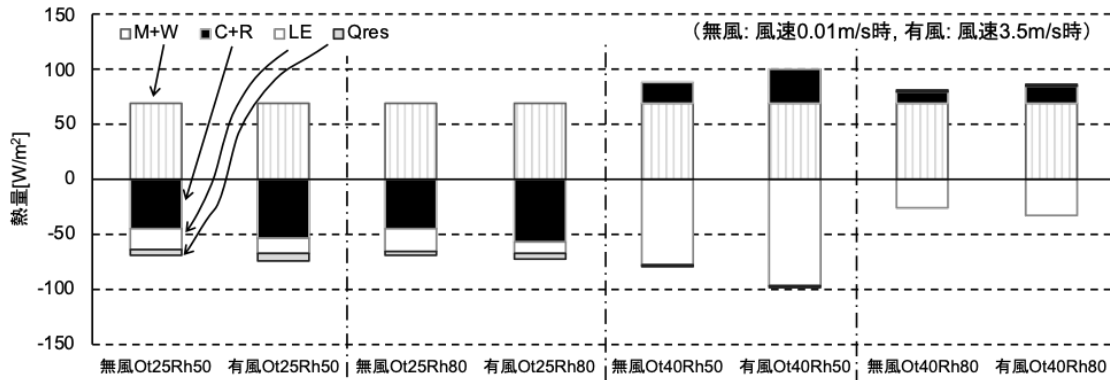


図2 多様な温熱環境下における人体熱収支の比較^{文4)}
(快適環境 (OT=25°C), 暑熱環境 (OT=40°C) の場合)

ここで、 Q_{res} が呼吸による放熱であるが、全ての環境条件において、その熱収支に占める割合は相対的に極めて小さい。これを踏まえると、マスク装着による呼吸による放熱の阻害の影響は小さいと考えられる。

2.2.4 マスク装着が皮膚表面からの顕熱（放射・対流）、潜熱（湿気）の放散に与える影響

最後に、前節において4つ目の障害としてあげた「皮膚表面からの顕熱（放射・対流）、潜熱（湿気）の放散の減少」を考えたい。これらは最終的には(5)、(6)式にあげた $C+R$ 、 LE の絶対値の減少に寄与すると予想される。しかし、(5)、(6)式は全身での放熱のモデル式を表す。マスクは顔の一部を覆うものであるため、全身に対する影響としては限定的なものと推察される。従って、この影響を考える場合は全身ではなく、部位毎の熱収支に基づき評価すべきものと考えられる。

3. 人工気候室を用いた実験によるマスク装着が人体温熱環境に与える影響の簡易調査

前章では、マスク装着が人体の温熱環境に与える影響として考えられる要素を整理した。本章では、この影響の実態を把握するため、人工気候室を用いた実験を行った例を紹介したい。ただし、今回紹介する実験は、新型コロナ禍の状況で被験者、共同作業員として学生に協力いただくのが困難であったため、筆者自身が被験者となって行われたものである。従って、結果としての信頼度は明らかに不十分である点を踏まえた上で、結果をご覧いただきたい。

3.1 実験対象

実験は、奈良女子大学生生活環境学部 E 棟内の生活環境シミュレータ（温熱実験室）において行われた。実験室の鉛直断面のイメージを図3に示す。温熱実験室は、高さ約3m、幅約4m、奥行約3mの実験室であり、気流の吹き出しは天井面より、吸込みは側面に一つ設けられている。本実験ではこの実験室内を気温28°C、相対湿度50%に制御した。実験期間は2020年9月14日、16日の2日間である。

3.2 実験ケース・方法

実験ケースを図4に纏める。本実験では、マスクの装着の有無、種類の差異に着目した3ケースの実験を行なった。Case1はマスクを装着しない場合の実験である。これに対し、Case2、Case3はマスクを装着する場合を想定したケースであり、Case2は新型コロナの感染拡大以前に国内で流通していた国産の使い捨て

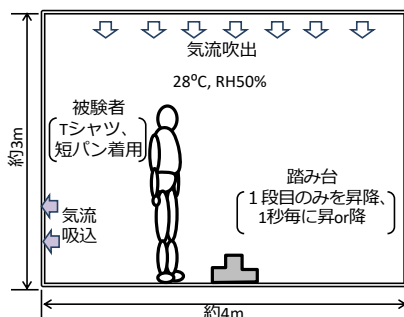


図3 被験者実験のイメージ

	0	20	40	60	80	100	120[分]
	20分 安静(前室)	20分 実験A	20分 安静(前室)	20分 実験B	20分 安静(前室)	20分 実験C	
実験日		実験A		実験B		実験C	
2020/09/14		Case1 (マスク無)		Case2 (使い捨てマスク)		Case3 (布マスク)	
2020/09/16		Case3 (布マスク)		Case2 (使い捨てマスク)		Case1 (マスク無)	

図4 実験スケジュール・実験ケース

表 1 計測項目

項目	計測間隔	備考 (計測機器名等)
①環境条件 (気温、相対湿度、グローブ温度、気流)	1min (平均値)	アメニティメータ AM-101 (京都電子工業社製)
②皮膚温度 (Hardy-Dubois の 7 点法)	200msec (瞬時値)	LT-200SA (Gram 社)
③鼓膜温度	200msec (瞬時値)	LT-200SA 使用
④-1 口-鼻間の表面温度 ④-2 マスク内表面、外表面温度	200msec (瞬時値)	9/16 のみ計測。LT-200SA 使用。
⑤マスク内空気温度	200msec (瞬時値)	LT-200SA, RS-14 を併用。 RS-14 の計測間隔は 1sec
⑥マスク内相対湿度	1 sec (瞬時値)	RS-14 (Especcmic 社製)
⑦代謝量 (体動量, 心拍数, 代謝量)	1 min (平均)	Acti-HeartRate (体動量は 32Hz 毎の計測の平均、心拍数は 128Hz 毎の計測に基づき平均)

でマスク (K 社製、マスクサイズ 90mm×175mm (サイズ M)) を用いた場合、Case3 は感染拡大以降に衣料品大手 F 社の選択可能な布マスク (マスクサイズ 145mm×230mm (サイズ L)) を用いた場合である。

本実験の流れを図 4 に示す。2 日間設けられた実験日各々で 3 ケース全ての実験を行った。被験者は前室 (室温 26°C、相対湿度 50%) において計測センサ等を貼り付けられた後、20 分間椅座で滞在した後に実験室に入室した。入室した被験者は、室内で 20 分間に渡り踏み台昇降運動を行った。踏み台昇降のタイミングについては、メトロノームを用いて 1 秒毎に昇または降を行う様に制御した。この昇降のタイミングは文献 5 を参考に設定した。実験ケース 1 回分が終了した後は、前室に戻り 20 分間椅座で滞在し、次の実験ケースに対応する実験を行うことを繰り返した。実験ケースの実施の順番については、9/14 は Case1 → Case2 → Case3 の順で行い、9/16 は Case3 → Case2 → Case1 の順に行う様に変更することにより、行うケースの順番の影響を調査した。

3.3 計測項目

計測項目を表 1 に纏める。本実験では、環境条件 (表 1 ①)、温熱生理反応 (表 1 ②、③、⑦)、マスク内外の温湿度 (表 1 ④-1 & 2、⑤、⑥) を計測した。④として挙げた口・鼻付近、マスク表面 (内側、外側) 温度については、マスクの断熱性を調査することを意図して 9/16 に追加計測した。⑦の代謝量について

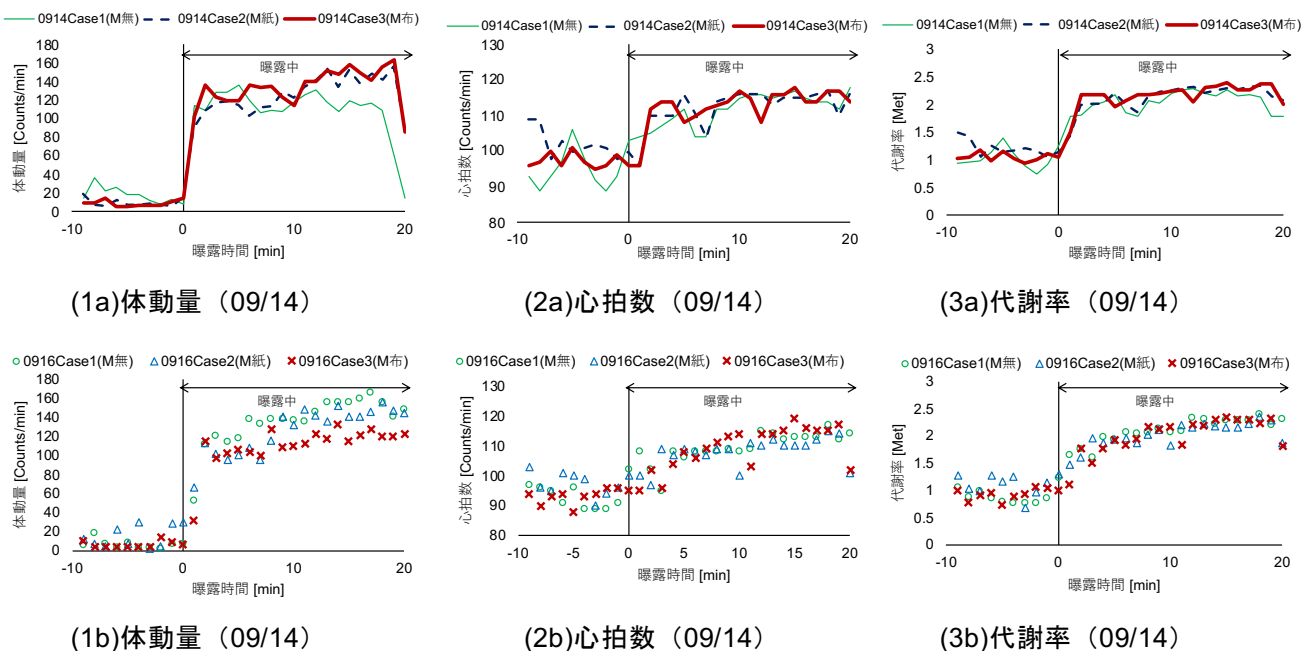


図 5 代謝量計測に関わる諸量の時間変化

ては、体動量、心拍数、体型から代謝量を評価する Actiheart 2.0 (Mini Mitter 社製) を用いた。代謝量の計測は、本来、吸気と呼気の酸素量の計測に基づく間接熱量測定法を行う方が望ましいと考えられるが、マスク装着の上にさらに上述の酸素量計測のためのマスクを装着する影響の懸念、並びに実施の簡便さにより、この計測機器を用いた。

3.4 実験結果

3.4.1 代謝量に関わる諸量の推移

図 5 に代謝量の計測に関わる諸量の計測時間中の推移を示す。ここで、図中の横軸が計測時間[単位 分]を表し、0 が人工気候室への入室時刻に対応し、負値 (-10~0 分) までは、前室に滞在する時間帯である。全ての実験において、前室では体動量が少なく代謝率も 1 程度の値を示す。入室後は 3.2 節に述べた様な踏み台昇降運動を行っているため、体動量、心拍数、代謝率共に大きな値となる。代謝率は曝露中安定した値の推移がみられ、曝露終了直前頃には約 2.3Met の代謝率の値を示す。本実験では、ケース間の値には大きな差は見られない結果となった。

3.4.2 温熱生理反応に関わる諸量の推移

図 6 に計測時間中の平均皮膚温度の推移を、また図 7 に心部体温を意図して計測した鼓膜温度の時間変化を示す。ここで示す値は、サンプリング間隔 5Hz (200msec) で計測された値を 1 分間に渡るデータで平均したものである。環境曝露前の値のばらつきが大きく、各実験開始時の被験者の生理状態が安定しておらず、参考程度の結果しか得られていないことが分かる。この不十分な結果の中で着目できる点を挙げるとするならば、環境曝露終了直前頃のマスク着用時 (Case2, Case3) の深部体温は、マスクを着用しない Case1 に比べ約 0.2~約 0.4°C 程度高温となることが分かる。被験者計測としては、緩和のための前室での滞在時間をもう少し長く設ける必要があること、さらなる被験者を確保した計測が必要であることが明らかとなった。

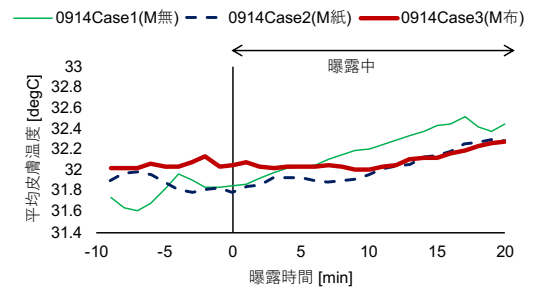
3.4.3 マスク内外の温熱環境の推移

(1) 口-鼻付近の皮膚温度の推移

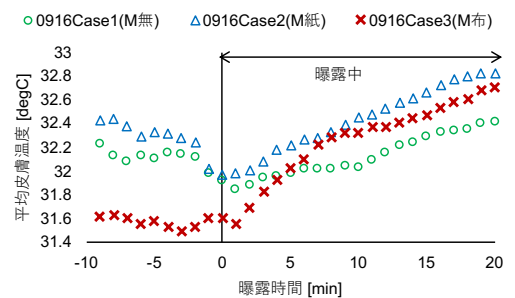
本節では、マスク内に形成される温熱環境に着目する。まず、図 8 に口と鼻の中間に位置する皮膚温度の時間変化を示す。ここでは、計測項目を追加し、幅広いデータ収集を意図して行った 9/16 の計測結果に着目する。結果全体の推移に着目すると、前節に示した平均皮膚温度、鼓膜温度に比べて安定した推移を示す。マスクを着用しない Case1 では環境曝露中の値が約 30.5°C、マスクを着用した Case2、Case3 の値が約 32.6°C 程度の値を示し、マスクの着用により表面温度が約 2.1°C 程度昇温する結果となった。

(2) マスク内空気温度の推移

図 9 にマスク内空気温度の時間変化を示す。ここに示す値は、鼻腔近傍で計測された空気温度である。そのため、マスクをしない Case1 においても約 30°C 程度の値を示し、人工気候室の設定室温 (28°C) よりも約 2°C 程度高い値を示す。これに対し、マスクを着用した Case2、Case3 では環境曝露終

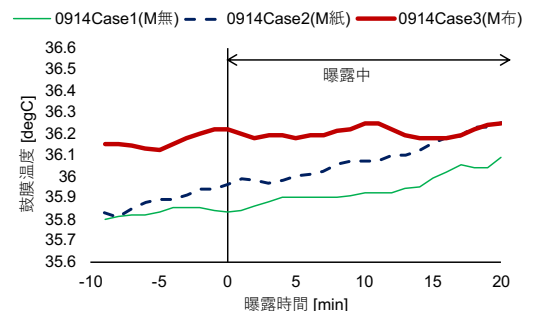


(1)9/14 の計測

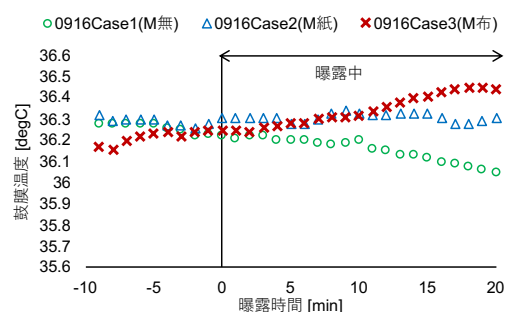


(2) 9/16 の計測

図 6 平均皮膚温度の時間変化



(1)9/14 の計測



(2) 9/16 の計測

図 7 鼓膜温度の時間変化

了直前の値が約 32.3°C の値となり、マスクの着用により鼻腔近傍の温度が約 2.3°C 昇温する結果となった。

(3) マスク内湿気環境の推移

図 10 にマスク内空気の絶対湿度の時間変化を、また図 11 に相対湿度の時間変化を示す。ここで、Case3 については計測開始から 6 分までに渡りセンサーとロガーの接触不良により欠測となったため、環境曝露 7 分以降の結果を示す。環境曝露中の絶対湿度の値については、Case1 から順に、各々約 0.017kg/kgDA、約 0.026kg/kgDA、約 0.029kg/kgDA 程度の値を示す。相対湿度についても同様に約 58%、約 79%、約 89%程度の値を示す。以上より、マスク着用の有無により、鼻腔近傍の湿気環境は、絶対湿度が約 9~12g/kgDA 程度、相対湿度が約 21~31%程度上昇し、極めて高湿な環境となることが分かる。

(4) マスク内外表面温度の推移

図 12 にマスク内表面温度の時間変化を、またマスク外表面温度の時間変化を図 13 に示す。マスクを着用しない Case1 の結果は除外した。まず、内表面温度の結果に着目すると、使い捨てマスクを着用した Case2 では環境曝露中の値が約 35.2°C、布マスクを着用した Case3 の値が約 34.4°C 程度の値を示し、Case2 の方が Case3 よりやや高温な結果となった。また Case3 については計測開始 5 分程度までの昇温が鈍い傾向が見られた。次に外表面温度の結果に着目する。同様に環境曝露中の推移に着目すると、Case2、Case3 の値が各々約 29.1°C、約 29.8°C 程度の値を示し、こちらについては Case3 の方が Case2 よりやや高温となった。以上を整理すると Case3 の方がマスク内の熱をマスク外に効率よく除去する傾向が見られることが分かる。これは、Case3 の布マスクの生地機能性が高いことが作用したものと推察される。

3.5 考察

3.5.1 マスク着用が熱代謝に与える影響

今回の計測では、マスク着用による 2.2.2 節に示した代謝熱への影響は確認できなかった。これには、計測方法による課題、呼吸方法の影響、の二つの点が注目される。

まず、前者については、計測項目 (3.3 節) で述べた様に、代謝量の計測は、本来、吸気と呼気の酸素量の計測に基づく間接熱量測定法を行う方が望ましいと考えられる。今回は、3.3 節に述べた様な理由から体動量と心拍数の関係から代謝熱を推定する計測機器を用いたため、その精度について確認する必要がある。一般的に、心拍数は、活動状態以外の多様な要因 (生理的状态、心理要因、運動状態等) に作用される。そのため、心拍数のみから推定される代謝量には高い精度は期待できないとの指摘がある。本計測に用いた機器はその点に配慮して、運動状態を評価するための体動量の計測結果との相関も併せて取ることにより精度を向上させているものと考えられるが、筆者自身は、この計測器

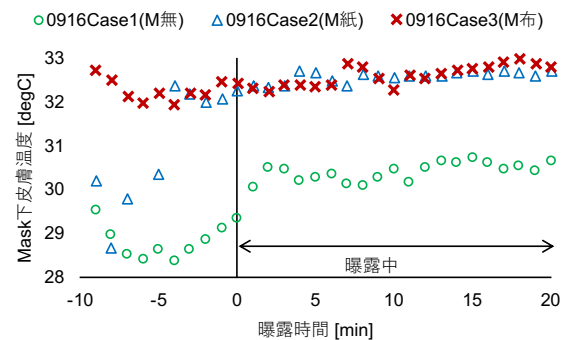


図 8 口—鼻付近の皮膚温度の時間変化 (9/16)

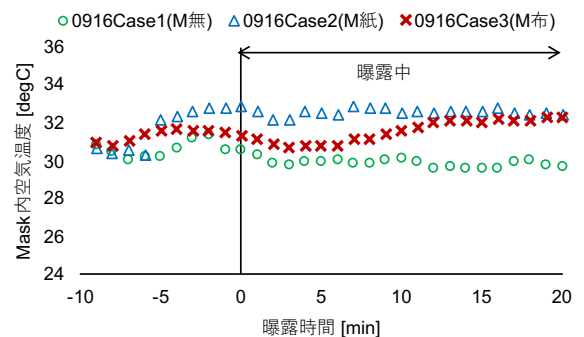


図 9 マスク内空気温度の時間変化 (9/16)

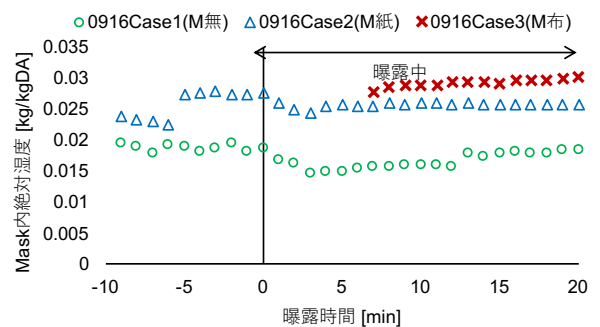


図 10 マスク内空気の絶対湿度の時間変化 (9/16)

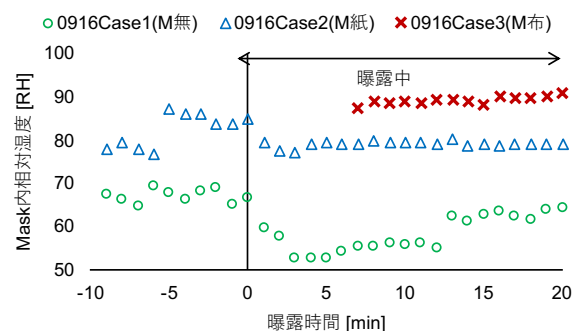


図 11 マスク内空気の相対湿度の時間変化 (9/16)

の計測値と一般的な間接熱量測定法との結果を比較していないため、その制度について確認する必要があると考えられる。

一方、後者については、本計測において被験者の呼吸は鼻呼吸となることを心掛けて行った。実験期間中においてもメトロノームで踏み台昇降運動のピッチを制御していたため、これに対応して呼吸も制御されていたと考えられる。そのため、本計測における呼吸方法（鼻呼吸）、呼吸回数は計測期間全般で概ね制御されていたと考えられる。呼吸方法には周知の通り、鼻呼吸と口呼吸の二つの方法がある。風邪の感染防止、いびき対策の観点から鼻呼吸が推奨されており、多くの場合、鼻呼吸が行われているものと考えられる。しかし、活動状態、生活者の癖などによっては口呼吸を行う場合が多い人も居るものと推察される。筆者は、鼻呼吸と口呼吸の差異として最も大きい点は、空気の吸入・排出の方向にあると考えている。具体的には、鼻呼吸の場合の空気の吸入・排出の方向は、上下（鉛直方向）に行われ、口呼吸の場合のそれは前後（水平方向）に行われると考えられる。マスクは口近傍を鉛直方向に覆う様に着用されるため、マスクの側方（マスクと顔の間）に隙間が生じ易い。従って、マスク内外の空気の入りは、顔とマスク間に生じる空気層に沿う様な流れの方が、マスク面に直交する法線方向に流れる場合よりも容易であろうと考えられる。鼻呼吸はマスクと顔表面に沿う前者の流れに近いので、マスクが空気の入りを阻む要因を緩和したものと推察される。さらに、呼吸によってマスク自体の形状が変形する事態は多くの方が経験していると予想されるが、これも口呼吸で吸気する場合にマスクの生地が口に付着する可能性が高いと推察される。この付着は呼吸時の空気抵抗として大きく作用するため、肺への負担が大きくなると考えられる。しかし、本研究では測定期間中に鼻呼吸で制御されていたため、その様な空気抵抗の増加の影響が少なかった。従ってマスク着用が代謝熱に与える影響自体も少なかったものと推察される。そのため、この呼吸方法の影響については今後詳しく検討する必要があるものと考えられる。

3.5.2 マスク着用が呼吸による熱放散に与える影響

次に、2.2.3 節に挙げた課題についても考えたい。図 9 に示した様に、本実験では、マスク着用の有無による呼吸域近傍の空気温度の差異については、マスク無しの空気温度が約 30°C 程度、マスク有りのそれが約 32°C の値を示す結果となった。また図 10、図 11 に示す結果より、呼吸域近傍の水蒸気圧は、マスク無しの値が約 2.7kPa、マスク有りのそれが約 4.1～約 4.5kPa と推定される。この結果と代謝率 2.3Met の値から各ケースにおける呼吸による熱交換量 C_{res} 、 E_{res} の推定を行った結果を表 2 に示す。マスクの着用により顕熱、潜熱の熱交換は着用前の半分程度にまで抑制されるものの熱量としての絶対値は 10W/m^2 にも満たない僅かなものである。従って、この結果からもマスクの着用が呼吸障害に起因する影響は小さいものと考えられる。

3.5.3 マスク装着が皮膚表面からの顕熱（放射・対流）、潜熱（湿気）の放散に与える影響

最後に、2.2.4 節に挙げた課題についても考えたい。本実験では、マスクの着用によりマスク内の空気温度が約 32°C、マスク内表面温度が最高約 35°C となった。これは作用温度に換算すると約 33.5°C に相当し、周辺環境温度（28°C）より約 5.5°C 高温となったことに相当する。この影響の強度は大きいと考えられるが、顔の熱環境に対する影響に限定されると考えられる。そのため、この影響を適切に評価するためには全身一

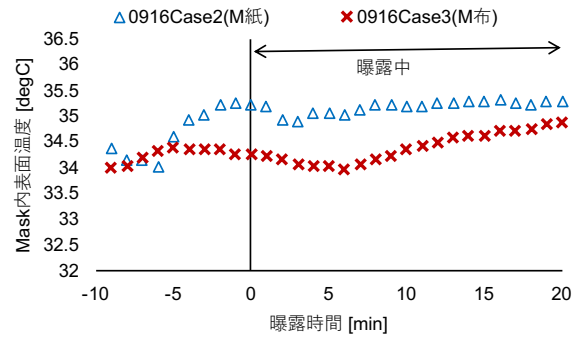


図 12 マスク内表面温度の時間変化 (9/16)

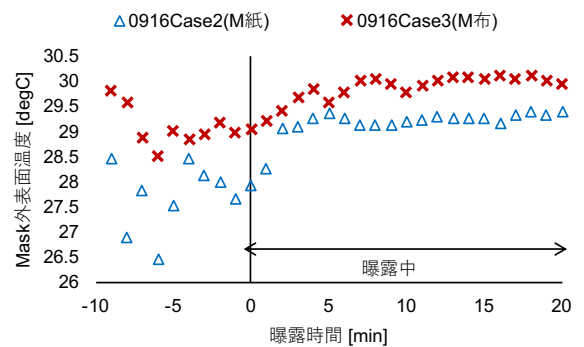


図 13 マスク外表面温度の時間変化 (9/16)

表 2 マスクの有無と呼吸による熱交換の関係

	θ_a	p_a	C_{res}	E_{res}
Case1	30	2.7	-0.75	-7.34
Case2	32	4.1	-0.37	-4.10
Case3	32	4.5	-0.37	-3.17

(C_{res} , E_{res} の単位は W/m^2)

様にモデル化する様な Two-node モデルではなく、部位毎の不均一温熱環境を評価可能な多分割体温調節モデルを用いた評価を行うことが望ましいと考えられる。この点については今後の課題である。

4. まとめ

- 1) マスクの着用が暑熱環境への適応に与える影響を検討した。
- 2) マスクの着用が人体熱収支に与える影響としては、代謝熱の増加、呼吸による熱交換の減少、マスク被覆部下の皮膚表面からの顕熱・潜熱放散の減少が考えられる。本稿ではこれらの影響を簡易な被験者実験により調査した。その結果、①呼吸方法（鼻呼吸、口呼吸）の差異が肺に与える負荷（代謝熱の増加）に与える影響の検討の必要性、②マスク下の皮膚表面からの顕熱・潜熱放散削減の影響を評価するための多分割体温調節モデルを用いた分析の必要性、が明らかとなった。これらのさらなる調査を行うことが今後の課題である。

謝辞 本研究は、2020 年度科学研究費補助金 基盤研究(C)（課題番号 20K04808，代表：吉田伸治）の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表す。

[参考文献]

- [1] 河野博子、コロナに「マスクは無意味じゃない」明確な根拠 直接防止効果はさておき社会のために必要だ、東洋経済オンライン、<https://toyokeizai.net/articles/-/341569?page=2>
- [2] 笠原啓史、村上周三、加藤信介、マスク着用時の人体呼吸性状の CFD 解析（その 1）マスク内外の流れ性状と肺への負荷の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集, D1, 703-704, 2004.
- [3] Thermal Comfort, ASHRAE Handbook, Chapter 8.
- [4] 吉田伸治, 風環境と人体の体温調節との関わり, 日本風工学会誌, 164, 206-213, 2020.7.
- [5] 踏み台昇降運動と踏み台昇降テスト、健康長寿ネット、<http://23.102.75.104/net/kenkou-tyoju/tairyoku-kiki/fumidai.html>