

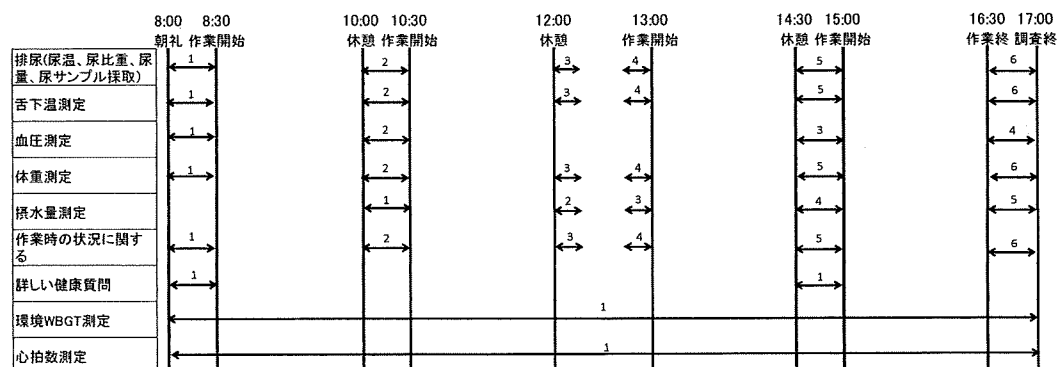
2)を用いて、日本の夏の気象条件で屋外作業者の作業中の総水分喪失量を予測した。また、環境 WBGT が 30℃以上では、発汗量が予測最大発汗量に達して深部体温の著しい上昇が予測されることを示した。(本厚生労働科学研究費補助金分担研究報告書)。これらの予測値と、現場調査での実測値を比較してモデルの正確さの検討も行う。

2. 研究方法

耐震補強工事に従事する建設業労働者を対象に、平成 21 年 8 月中旬の 3 日間にわたり、延べ 23 人(40.7±14.5 歳)の環境測定、生理学的測定、尿分析、アンケート調査を行った。A) 環境測定：定点観測では屋内と屋外に WBGT 計(QUESTemp, QUEST-technologies 社)を置き 1 分ごとに連続記録をした。作業者のヘルメットにも携帯記録型 WBGT 計を取り付け、作業者近傍の暑熱環境を 2 分ごとに連続記録した。B) 生理学的測定：作業中の心拍数、活動度は各被験者に携帯型心電計(ActiHR, ミニミッター社)を取り付け 1 分ごとに測定した。体重は、休憩時間毎に作業場の近くに設けた測

定所に現場の被験者に来てもらい 1 日 6 回(始業前、午前休憩時、昼休み前、昼休み後、午後休憩時、終業時)、毎回パンツだけで測定した。測定後は、毎回新たな T シャツを配布して下着を交換した。体重測定時に、携帯型心電計の電極が取れていないかどうかチェックした。体重計(FG-150KBM, AND 社)は、20g まで測定可能な装置を用いた。水分は、蒸留水入り 500ml のペットボトルを体重測定毎に数本供給し、供給した水のみを摂取するように依頼した。次の体重測定時に供給したペットボトルを回収して、摂取した量を計測した。昼食時は、500ml のお茶のペットボトルを供給した。体重測定の前に毎回採尿を行い、排尿直後の尿温度(深部体温)、尿量、尿比重計測を行った。尿温度は、防水された温度センサー(LT-ST08-00、グラム社)で測定し、尿比重は、屈折計(Pal-09S, ATAGO 社)を用いた。舌下温測定は、小数点以下二桁まで測定できる婦人用体温計(C502,テルモ社)を用いた。尿は、5ml をサンプルとしてドライアイスで凍結し、冷凍保存のまま持ち帰って、SRL 社に尿成分測定を業務委託した。

表 1. 1 日の測定スケジュールと測定回数



注) 横軸が時間の流れを示し、縦軸が測定項目を示す。両矢印が示す時間内に、測定がなされたことを示し、矢印の上の数字は、測定回数を示す。

3. 結果

対象者 23 人の内訳は屋内作業者が 12 名、屋内外移動者は 5 名、主に屋外作業者が 6 名で平均年齢が 40.7 ± 14.5 歳であった。

A. 環境測定

全作業者の携帯型 WBGT 計の平均値は、 $28.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ (1 日目)、 $27.6 \pm 1.0^\circ\text{C}$ (2 日目)、 $27.5 \pm 1.0^\circ\text{C}$ (3 日目) であり、測定日によって大きな差はなかった。2 日目の屋外定点の WBGT 計測(図 1)では、日中には 32°C に達した。午前 11 時頃から午後 4 時ごろまで WBGT が 30°C 程度という状態が続いた。

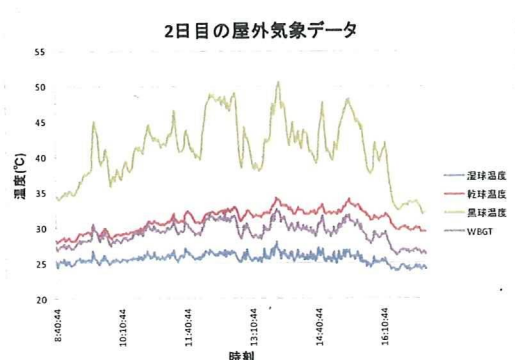


図 1. 屋外気象データ(作業時、2009/8 月)

表 2. 屋外・屋内定点 WBGT 平均値 (8:30-17:00)

	屋外	屋内
1 日目	31.6	25.6
2 日目	29.2	26.5
3 日目	29.8	26.6

携帯型 WBGT 計の WBGT 値は、屋内と屋外の定点観測の値の間にあることが分かった。

B. 心拍数

59 歳男性屋外作業場で、アンカーの穴あけ作業を行っていた人の心拍数と活動度を示す(図 2)。緑色で示した領域は、ACGIH-TLV の心拍数基準(180-年齢)を 4 分以上連続して超えた領域を示す。午前中前半と後半の作業時間の平均心拍数でも ACGIH-TLV の心拍数基準(180-年齢)を超えていた。心拍数が 140 を超えていた時間もあり、心肺機能への負担が大きかったと予想される。次に、心拍数の 23 人の平均値を次に示す(図 3)。23 名中 ACGIH-TLV の心拍数基準(180-年齢)を 4 分以上超えていた人は、26 名中 4 人いた。なお、paired T 検定を用いて、午前後半と午後前半、午後前半と午後後半を比較すると、午後前半が午前後半や午後後半よりも優位に高い値を示した(図 3)。

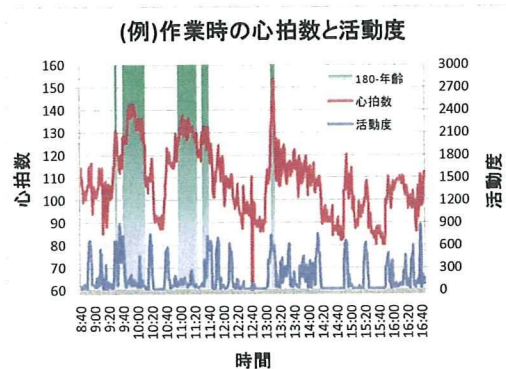


図 2. 1 人の作業者の心拍数と活動度

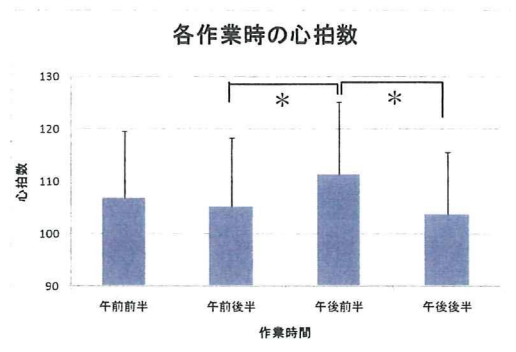


図 3. 作業時間中の心拍数平均値
* は対をなす T 検定で有意

C. 体重変化

作業開始時からの相対的な体重変化を図 4 に示した。また、各作業時間の体重比当たりの体重増減と水分摂取量、水分補給率 (=水分摂取量/総水分喪失量)を図 5 に示す。発汗量は、水分摂取量から体重減少量を引き、尿量を引いて求めた。水分補給率は、午前中の作業では約 55%、午後前半の作業では約 35%、午後の後半では約 75%を水分として摂取していた。水分補給量が、どの時間帯でも不足していた。特に、午後前半は、午前中と水分補給量は同程度であったが、発汗量が大きく暑熱曝露が強くなったため、水分補給率が低下したと思われる。午後前半の、水分喪失量を補うため、午後後半では水分補給量が多くなったと推測される。作業前の体重より 1.5%以上減少 (ACTIH-TLV 基準)した人は 23 名中 6 人いた。午後前半の発汗率は、約 700ml/h(図 5)

であった。

携帯型の WBGT 計では、28-30℃であるため、中代謝の作業強度を仮定した場合 ISO7933 の暑熱予測モデル(PHS)により計算された総水分喪失量(表 3, 1.1clo, im=0.35, 暑熱馴化あり)では約 630ml/h に対応する。従って、PHS による総水分予測値と現場調査での作業者の総水分喪失量の実測値とが大きく変わらないのではないかと推測できる。

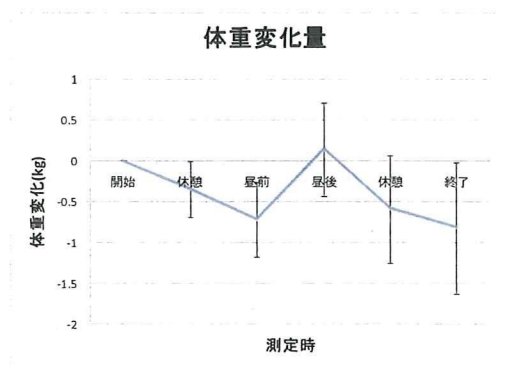


図 4. 相対的な体重変化量

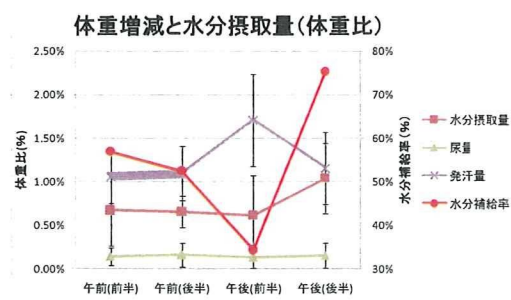


図 5. 各作業時間の体重増減と水分摂取量

表 3. PHS モデルによる 1 時間作業時の WBGT 別、作業強度別最大総水分喪失予測量(ml)
(暑熱馴化あり, Icl = 1.1Clo, im = 0.35)

		代謝率				
		安静 (65W/m ²)	低代謝率 (130W/m ²)	中代謝率 (200W/m ²)	高代謝率 (260W/m ²)	極高代謝率 (300W/m ²)
WBGT	18°C (N=247)	48	74	199	354	463
	19°C (N=327)	51	81	205	361	466
	20°C (N=421)	67	119	252	424	537
	21°C (N=505)	88	146	287	480	606
	22°C (N=624)	102	164	302	491	616
	23°C (N=670)	135	200	349	554	694
	24°C (N=648)	171	239	387	582	717
	25°C (N=720)	204	276	439	662	806
	26°C (N=550)	250	326	497	723	870
	27°C (N=297)	303	382	554	755	878
	28°C (N=244)	330	416	604	827	956
	29°C (N=219)	366	458	636	851	977
	30°C (N=195)	391	493	675	905	1038
	31°C (N=138)	414	517	690	918	1048
	32°C (N=135)	504	609	721	970	1107
	33°C (N=59)	499	607	713	972	1108
34°C (N=20)	613	686	710	983	1128	

注) 東京、大阪、名古屋、福岡、広島、新潟の過去 4 年間(2006~2009)の 6-9 月の 1 時間毎の気象データベース(気象庁、国立環境研の webpage)からそれぞれの WBGT 値に対応する気象データ(±0.05°Cの範囲内)を選び出し、5 段階の作業量(安静、低代謝、中代謝、高代謝、極高代謝)に対し、PHS モデルで予測される水分補給量を計算した。N は計算に用いた気象データの数を示す。平均的な日本人の成人男性(身長 170cm, 体重 65kg)の人が、暑熱馴化があり、頭熱抵抗 1.1clo、im 値が 0.35 の衣服を着て 1 時間作業を行ったときの予測総水分喪失量を求めた。十分な水分補給量を表すために、平均値に標準偏差の 2 倍を加えた値を ml 単位で示した。赤字は、1 時間作業後の深部体温が ISO7933 の基準 38°C を越えていることを示す。背景色が黄色の所は ISO7243 の基準値を示し、青が基準値範囲内、ベージュは ISO7243 の基準値を超えるところを示している。

D. 尿温度と舌下温

尿温度は、作業開始時の 36.8°C から、昼休憩前の 37.2°C までほぼ一様に上昇し、昼休憩後は、37.0°C まで下がるが、午後の休憩時には 37.4°C でピークを迎え、最後の終了時は 37.2°C 位に減少した(図 6)。午後の休

憩時に尿温度が高いのは、環境温度が高いのに加えて、心拍数の有意な増加から作業強度が増したことも推測される。食事の影響も一要因として考えられる。舌下温は、やや増加傾向にあったがほとんど変化がな

かった。舌下温は、飲水の影響で変わると考えられるので、深部体温の指標としては現場において適さないと考えられる。

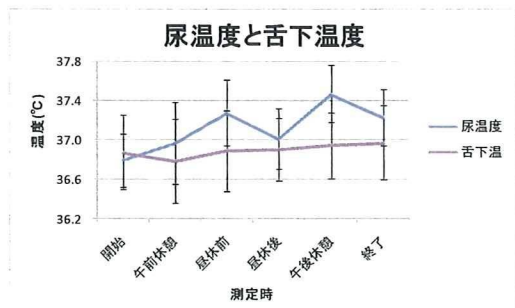


図 6. 尿温度と舌下温度

E. 尿比重と尿浸透圧

尿比重、尿浸透圧については、ともに午が進んだと考えられる(図 7)。

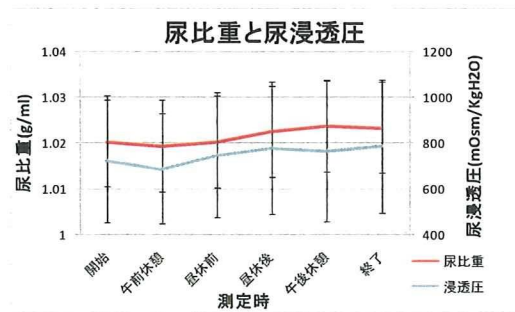


図 7. 尿比重と尿浸透圧

F. 尿成分測定

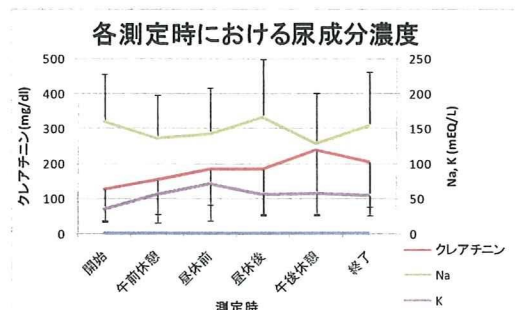


図 8. 尿中クレアチニン、Na、K 濃度

6 回の採尿時にサンプル凍結して冷凍保存で持ち帰った尿 5ml をクレアチニン、Na、K について、尿成分分析を行った。クレアチニンは、午後になるにつれて、増加傾向にあったが、Na、K 濃度は変化がなかった(図 8)。

脱水と深部体温の関係を明らかにするために、終業時の体重減少率と尿温度との関係をプロットした(図 9)。作業中の体重減少率が大きいほど、尿温度が高い傾向にあることが示された。これは、作業量が大きいと、発汗量が大きく、深部体温が増加すると考えられる。脱水が進み、深部体温が上昇しやすくなったことも要因として考えられる。

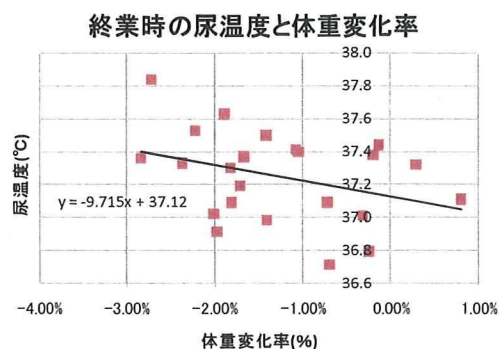


図 9. 終業時の尿温度と体重変化率

G. 休憩時の聞き取り調査

体重測定に合わせて、口渇感、温熱感、発汗の程度、疲労感の 4 項目を 5 段階の回答を作り作業者に質問した。口渇感は、午後休憩時の訴えが強く、始業時、昼食後の訴えが少なかった。温熱感も午後休憩時に暑さを訴える人が多かった。発汗の程度は、作業後の訴えはほとんど同じだった。疲労感、時間が経つにつれて訴えが強かった

(図 10)。

表 4. 作業時の主観的感覚に関する質問項目と回答項目

A のどの渇き	B 温熱感
0 ない	0 暑くない
1 少しある	1 少し暑い
2 ある	2 暑い
3 非常にある	3 大変暑い
4 極度にある	4 極度に暑い
C 発汗	D 疲労感
0 ない	0 疲れていない
1 少しある	1 少し疲れている
2 ある	2 疲れている
3 大変ある	3 非常に疲れている
4 極度にある	4 極度に疲れている

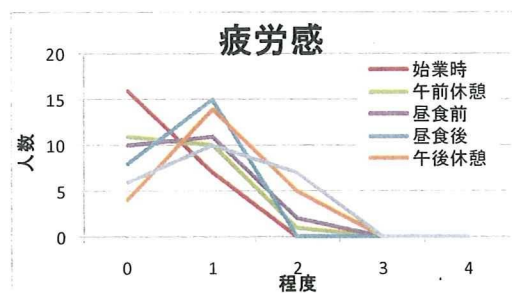
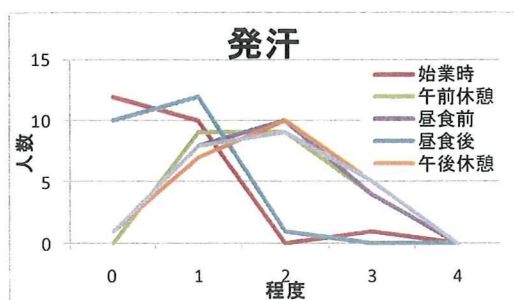
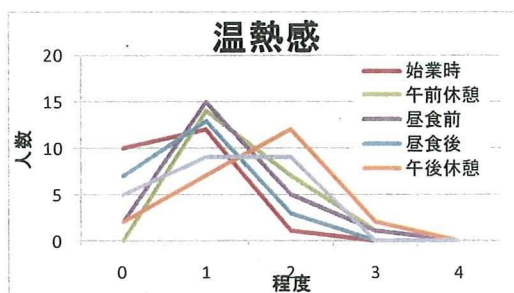
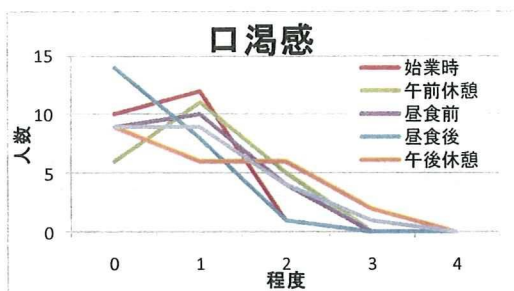


図 10. 作業者の主観的感覚に関する回答

H. 生活習慣等に関するアンケート

調査票では、身長、体重、生活習慣（飲酒・喫煙、睡眠）、既往症、熱中症・その疑いの経験、着衣、作業内容、熱中症予防の実践、改善提案について始業時又は午後休憩時に聞き取り調査を行った。結果は、以下の通りであった（表 5）。生活習慣に関しては、飲酒率：78%、喫煙率：83%、平均睡眠時間：5 時間 47 分であった。総飲水回数の平均：4 回、総飲水量の平均：1244mL、総排尿回数の平均：4 回で、温熱感、口渴感：19%、疲労感：13%の訴えがあった。着衣は頭部 1-3 枚、頸部 0-1 枚、上半身 1-3 枚、下半身 2 枚、足部 2 枚であった。熱中症・その疑いの経験は、経験有りが 8.7%、目撃・伝聞では 83%であった。

今回の調査における特筆事項として、作業者の一日の平均睡眠時間が 5 時間 47 分（±SD：1 時間 16 分）と短かった。睡眠 6 時間以下であったのは、対象者 23 人中 15 人、約 65%であった。落下などの危険作業を伴う階段・足場昇降作業（N=11、平均 ±SD：41 ± 16 歳）の平均睡眠時間は 6 時間 04 分（±SD：1 時間 16 分）であり、その他の作業者の平均睡眠時間 5 時間 32 分（±SD：1 時間 24 分）と比較すると 28 分程長い、睡眠不足の傾向が観察された ($p =$



0.17 (student's *t*-test), 表 5, 図 11). ただし, 年齢と睡眠時間の相関は観察されなかった (図 12). 一方で, 熱中症予防の実践については水分摂取 (91%) に続いて睡眠 (26%) が挙げられ, 熱中症予防における睡眠の意義について意識は高いものの, 十分実践に至っていないことがうかがい知れた. 改善提案として, 作業員からは休憩所の改善・横臥できる場所の確保 (22%) が挙げられ, 作業員の睡眠への意識改善とともに検討余地があると考えられる.

また加えて対象者の飲酒・喫煙率の高さが目立ち, 飲酒・喫煙習慣に伴う潜在的な生活習慣の乱れが懸念される. これまでに熱中症における睡眠と飲酒の関連性が指摘されており, 睡眠と共に生活習慣の見直しについても検討が必要であると考えられる

表 5. 対象者 23 人のアンケート結果

生活習慣 (飲酒・喫煙)	
飲酒率	78.3 %
喫煙率	82.6 %
喫煙本数	21.7本

生活習慣 (睡眠)	
就寝時刻	23:28
起床時刻	5:16
睡眠時間	5時間47分

水分摂取と排尿	
総飲水回数	4回
総飲水量	1244 mL
総排尿回数	4回

感覚指標	
温熱感	19 %
口渴感	19 %
疲労感	13 %

作業内容	
重量物(重%)	22 %
階段・足場昇降(多%)	48 %
粉塵(多%)	26 %
騒音(多%)	35 %
手腕振動(多%)	13 %

着衣	
頭部	1-3枚
頸部	0-1枚
上半身	1-3枚
下半身	2枚
足部	2枚

熱中症・その疑いの経験	
経験有り	8.7 %
目撃・伝聞	83.0 %

表 6: 階段・足場昇降作業員群と
対照群の平均睡眠時間

	階段・足場 昇降作業群 N=11	その他の 作業員群 N=12
年齢 (平均±SD)	41±16 歳	41±14 歳
睡眠時間 (平均±SD)	6 時間 04 分 ± 1 時間 16 分	5 時間 32 分 ± 1 時間 24 分



図 11. 作業内容と睡眠時間

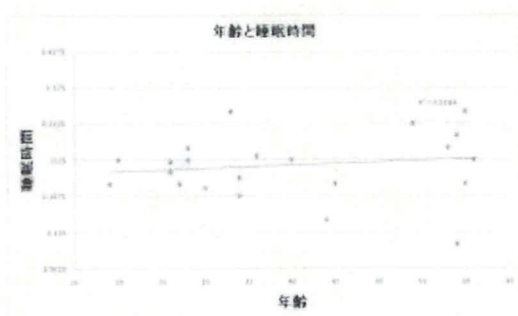


図 12. 年齢と睡眠時間

まとめ：熱中症の予防対策に役立てるため、夏期の建設業従事者の水分補給量と暑熱負担の程度を調査した。環境 WBGT 測定、体重変化量、水分摂取量、深部体温（尿温度、舌下温）、心拍数測定を行った。屋外の WBGT 温度は 30℃を超える場合が多く、被験者が携行した WBGT 計の平均値は、28℃付近であった。屋内と屋外の作業が混在すると推測される。1 日 6 回（始業前、午前休憩時、昼休み前、昼休み後、午後休憩時、終業時）、体重測定、摂水量計測、尿温・尿量・尿比重計測を行った。各 1 時間半の作業時間で、午前中は体重比 0.5%程度、午後前半は体重比 1.2%程の減少があった。業務終了時に、始業時の体重の 1.5%以上減少（ACGIH-TLV 基準）していた人は、23 名中 6 人いた。水分摂取は、毎作業時間に体重比 0.6%程の水分摂取はしていた。その量は、総水分喪失

量の約 55%（午前中）、35%（午後前半）、75%（午後後半）であった。作業中は総水分喪失量の 80%の水分を摂取することが推奨されているため、現在摂取している水分量の 1.5 倍以上を補給する必要がある。尿温度は、作業開始時の 36.8℃から、午前の作業で上昇し昼休みで一時低下するが、午後の休憩時にピークを迎え平均で 37.4℃を超えた。尿温度の最高は 37.9℃であったが、作業中は 38℃を超えた可能性が高い。暑熱ストレスが、もっと強ければ、深部体温が 38℃を越える人が多くなる可能性はある。心拍数は、数分間の平均値が（180-年齢）を超える場合（ACGIH-TLV 基準）が 23 名中 4 名いた。尿比重、尿浸透圧とも午前と比べて午後は増加傾向にあった。作業中に務めて水分補給を行うことが推奨される。休み時間ごとの主観に関するアンケート調査では、口渇感、温熱感とも午後の休憩時に訴えが強かった。疲労感は、時間が経つにつれて強くなり、業務終了時が最も強かった。聞き取り調査の結果では、作業者の平均睡眠時間が 6 時間に満たなかった。睡眠不足は熱中症の誘因と考えられるため、睡眠時間の改善が望まれる。喫煙率は、80%を超え日本人の平均喫煙率よりかなり高率であった。聞き取りによる普段の 1 日の平均水分摂取量は、1.25L であり本調査の 1.5L 程とそれほど違わなかった。自身の熱中症経験が 1 割弱、作業場で見聞きした割合は 83%にも上り、建設作業場の重大な問題の一つであることが示された。

参考文献

- 1) ISO 7933 (2004) Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain.
- 2) Malchaire J et al. (2002) Assessment of the risk of heat disorders encountered during work in hot conditions. Int Arch Occup Environ Health 75, 153-162.

分担研究3

3. 人工環境室での被験者実験による必要水分補給量予測モデルとしてのPHSの妥当性の検証：暑熱環境下歩行時のPHSモデルによる水分補給が温熱生理・心理反応に及ぼす影響

主任研究者	澤田 晋一	労働安全衛生総合研究所	国際情報・研究振興センター長
分担研究者	榎本 ヒカル	労働安全衛生総合研究所	任期付研究員
	東郷 史治	労働安全衛生総合研究所	研究員
	上野 哲	労働安全衛生総合研究所	主任研究員
研究協力者	岡 龍雄	労働安全衛生総合研究所	主任研究員
	安田 彰典	労働安全衛生総合研究所	主任研究員

研究要旨

暑熱環境における飲水量の違いが人体生理・心理反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、2種類の実験を行った。無飲水条件に比べ飲水条件では体内温が低下する、主観的申告が改善される、などの結果が確認された。また、暑熱環境下においてPHSモデルは水分補給の目安のひとつとなりうることが示唆された。

1. はじめに

職業性熱中症が減少しない理由の一つに、暑熱作業時の水分補給量の目安が明確でないことが指摘されている。

そこで、暑熱負担評価の現行国際規格であるISO7933をベースにして作成されたPHSモデルで算出された水分補給の妥当性および暑熱環境における水分補給量の違いが人体に与える影響について検証するため、人工気象室を用いた2種類の被験者実験を行った。

したB室を気温35℃相対湿度50%とした。どちらの室内も周囲壁面温度は気温と等しく、気流速度は0.2m/sの不感気流であった。

(2) 被験者条件および設定飲水量について

被験者は、労働安全衛生総合研究所の男性職員4名を採用した。表1に被験者の特徴を示す。4名には、実験の趣旨および途中でいつでも取りやめることができる旨を十分説明した後、実験に参加してもらった。

表1 被験者の特徴

Sub.	Age	Height(cm)	Weight(kg)	BMI(kg/m ²)
A	55	177	65	20.7
B	39	180	78	24.1
C	51	177	77	24.6
D	46	167	75	26.9
Mean	47.8	175.3	73.8	24.1
S.D	6.9	5.7	6.0	2.5

2. 実験1について

(1) 実験室および設定温湿度

実験は、東京都清瀬市にある労働安全衛生総合研究所内の人工気候室にて行った。独立して制御可能な連続した2室を用い実験を行った。

人工気候室の設定条件は、前室にあたるA室を気温25℃相対湿度50%、暑熱条件として設定

実験中の被験者の着衣はTシャツおよびトランクスのみとし、着衣による熱抵抗値は0.2clo程度であった。また移動時以外は被験者は椅子に座り安静を保った。

水分補給条件については、全く水分摂取をし

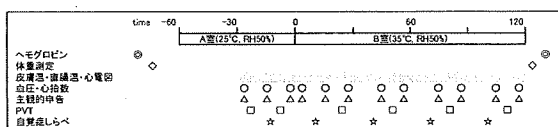


図1 実験スケジュールおよび測定項目

ない場合（以下C条件とする）と、PHSモデルより算出された飲水量を摂取した場合（以下W条件とする）の2条件とし、この2条件の比較を行った。

（3）実験スケジュール

図1に実験スケジュールおよび測定項目を示す。実験室入室前に指先血中ヘモグロビン濃度の1回目の測定と、直腸温センサーの装着をおこなってもらう。その後、あらかじめ準備したトランクスを着用し、体重測定を1回目を行う。以上を済ませた後、人工気候室A室に入室し、皮膚温および心電図を測定する準備を行う。入室後30分経過後から皮膚温および心電図の測定を開始し、以後血圧、心拍数、主観的申告、視覚的反応時間（PVT）、自覚症しらべの測定を表に示したタイミングで行った。30分後、被験者は暑熱環境のB室に移動し2時間滞在した。2時間経過後はすみやかに皮膚温測定および心電図測定器具をはずし、2回目の体重測定を1回目と同じ着衣状態で行った。その後指先血中ヘモグロビン濃度の2回目の測定を行った。

飲水は、15分おきにA室で1回、B室移動後9回の計10回行った。飲水量は算出された量を10分割し（個人別に1回に30ml～50ml、4回目以降は全員40ml）、主観的申告の回答が終わった段階で飲水した。水温はあらかじめ室温と同じにしていた。

また体表面の汗については、実験中は適宜自由にぬぐってもらった。

一連の実験は、平成21年3月に行われた。時間は午前10時から、午後2時から行い、被験者は2条件とも同じ時刻に行った。

（4）測定項目について

皮膚温および直腸温については、LT-8および付属センサー（ともにグラム社）を用い、皮膚温7点と直腸温を1分ごとに測定した。皮膚温7点よりHardy & DuBoisによる平均皮膚温を算出した。

血圧及び心拍数は、HEM-70007アジィ（オムロン社製）を用い、被験者右上腕にておよそ15分毎に測定した。体重測定は、ザルトリウス社製の体重計を用い、1g単位で測定した。

指先血中ヘモグロビン濃度は近赤外分光画像計測法の原理を用いて非侵襲的に右手中指にて測定した（ASTRIM SU, シスメックス）。

主観的申告として、温冷感（9段階）、温熱的快不快感（4段階）、暑さに関する愁訴（吐き気、めまい、激しい疲労感、耐え難さ、のどのかわき）に関しては4段階で被験者に答えてもらった。

疲労の度合いに関して、自覚症しらべ（日本産業衛生学会産業疲労研究会提案）の調査用紙を用い、30分間隔で被験者に答えてもらった。

3. 実験1結果および考察

（1）体重変化量

図2に、体重の変化量について、被験者A～Dの4名の個別データと、4名の平均値および標準偏差（S. D.）を示す。体重変化量とは、2回目の体重計測値から1回目の体重計測値を除いたものである。C条件では体重変化量は被験者毎に-270gから-330gで平均値±S. D. は310.3 ± 24.7gであった。W条件では個別では+60g～+170gで、平均値±S. D. は100.2 ± 51.0gであった。PHSモデルより算出された飲水量は被験者毎に異なり390g～430gで平均410.0g、C条件とW条件の差（変化量）は383～447gとなり、平均値は410.5gでこれはモデル算出の飲水量とほぼ等しい値であった。

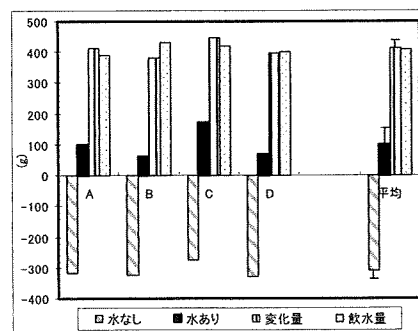


図2 体重変化量および飲水量

(2) 平均皮膚温

図3に、平均皮膚温の被験者4名の平均値とS.D.を、経時変動で示す。前室Aにおける平均皮膚温は33.5°C程度であり、暑熱条件のB室に移動してからは皮膚温が上昇し、最初の30分で35.8°C程度まで上昇した。その後はW条件、C条件ともに平均皮膚温は徐々に低下し続け、B室入室120分後には35.3°C前後であった。

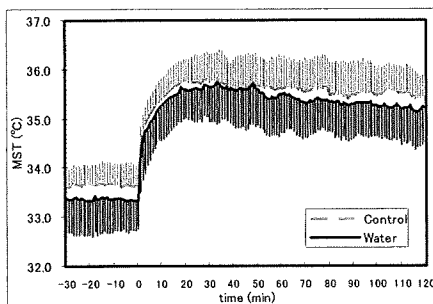


図3 平均皮膚温の経時変動 (平均値 \pm S.D.)

(3) 直腸温

直腸温の実測値はおおむね36.8°C~37.9°C程度であり、個人差および日内変動差がみとめられた。そこで実験開始時点からの変化量について検討を行った。図4に直腸温変化量 (B室入室時からの変化量) の被験者4名の平均値とS.D.の平均値を、経時変動で示す。

直腸温変化量はB室入室後最初の20分間程度は低下しつづけるものの、その後上昇をはじめ、120分後まで上昇しつづけた。C条件では上昇は0.27°C程度であったのに対し、W条件では0.22°Cで、W条件の方が直腸温上昇が低くおさえられた。B室入室後60~70分間程度は条件間にあまり差はみられないが、その後はW条件の上昇が緩やかになるのに対しC条件ではより大きく上昇し続けた。

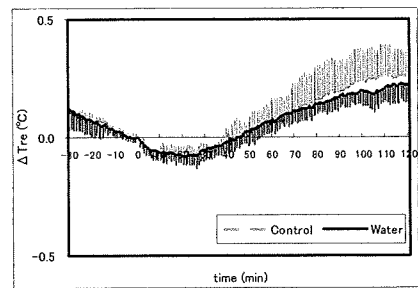


図4 直腸温変化量の経時変動 (平均値 \pm S.D.)

(4) 血圧および心拍数

図5に、収縮期・拡張期血圧および脈拍数の平均値の経時変動とS.D.を示す。収縮期血圧はA室では約130mmHg、B室では120mmHg程度で、拡張期血圧はどちらの室でも80~85mmHg程度であった。W条件とC条件の間に差はみとめられなかった。心拍数の平均値は50~60程度であり変化しなかった。

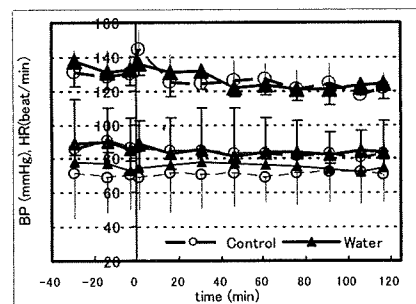


図5 収縮期・拡張期血圧および脈拍数の平均値の経時変動

(5) 主観的申告

図6に、温冷感申告値の平均値の経時変動とS.D.を、図7に温熱的快適感申告 (快不快感) の平均値の経時変動とS.D.を示す。

温冷感申告は、A室では「0:どちらともいえない」程度だったものがB室移動後「1:やや暖かい~2:暖かい」に変化した。その後、申告値はより「暑い」側に移動していくが、その度合いはC条件の方が大きく、実験終了時にはW条件では「2:暖かい」程度であったのに対しW条件では「3:暑い」程度になっていた。

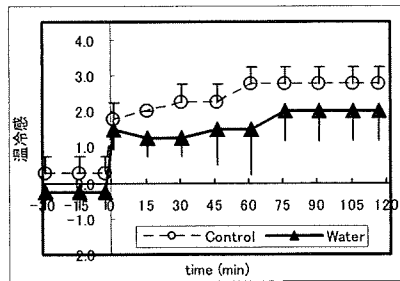


図6 温冷感申告

快不快感申告は、A室では「0：快適」の申告であり、B室移動後は「0～-1：やや不快」側の申告に移行した。W条件とC条件を比較するとW条件の方がやや「快適」側の平均値を示した。

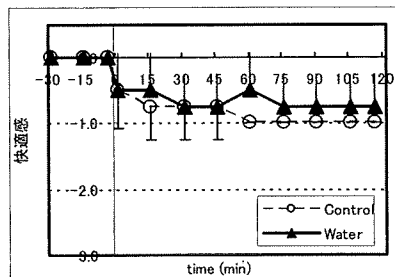


図7 快不快感申告値

(6) 自覚症しらべ

図8に、自覚症しらべのスコアの総得点の経時変動を示す。自覚症しらべは疲労度を示しており、点数が高くなるほど疲労の度合いが大きくなっているといわれている。今回の実験では、時間の経過に従いスコアは増加したが、2条件の差は小さかった。

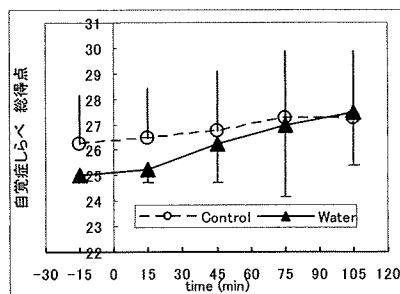


図8 自覚症しらべ 総得点平均値

(7) 指先血中ヘモグロビン濃度

図9に指先血中ヘモグロビン濃度測定値の結果を示す。ヘモグロビン濃度はB室退室後では入室前と比較して増加する傾向が認められた(図15A)。W条件ではC条件と比較してその増加は抑制される傾向にあった(図15B)。B室滞在後半では前半と比較して、ヘモグロビン濃度は増加傾向にあり、体内水分量が減少したことが推測された。飲水はこれらの変化を抑制する作用があるのではないかと考えられた。

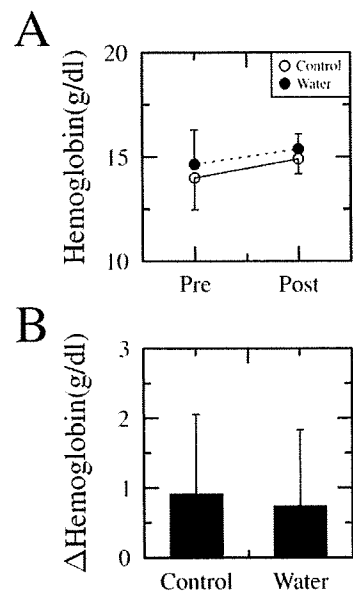


図9 飲水なし(control)、飲水あり(water)条件でのB室入室前(pre)と退室後(post)の血中ヘモグロビン濃度(A)とその変化量(B)。数値は4名の平均値±標準偏差。

3. 実験2について

(1) 実験室および設定温湿度

実験は、東京都清瀬市にある、労働安全衛生総合研究所内の人工気候室にて行った。独立して制御可能な連続した2室を用い、実験を行った。

人工気候室の設定条件は、前室にあたるA室を気温25℃相対湿度50%、暑熱条件として設定したB室を気温33℃相対湿度50%、WBGT換算で27.6℃とした。どちらの室内も周囲壁面温度は気温と等しく、気流速度は0.2m/sの不感気流であった。

(2) 被験者側条件について

被験者は健康で標準的な体格の男子大学生8名で、実験中は夏季の建設作業現場服一式（Tシャツ、トランクス、長袖上衣、長ズボン下衣、軍手、軍足、安全靴、ヘルメット）を着用した。これら着衣による熱抵抗値は1.0clo程度であった。

なお被験者には、実験の趣旨および途中でいつでも取りやめることができる旨を十分説明した後、実験に参加してもらった。

(3) 設定飲水量について

設定飲水量を表2に示す。飲水条件は、水の摂取および運動条件を変化させ、合計6種類設定した。水の条件として、①水を実験中に飲まない<水0条件>（以下水0とする）、②実験中にISO7933によって各被験者別に計算された必要水分量の水を飲む<水1条件>（同水1）、③実験中にACGIHの勧告を参考に設定した水分量の水を飲む<水2条件>（同水2）の3種類を設定した。摂取する水に関しては、常温の国産ミネラルウォーター（サントリー社 天然水南アルプス）を使用した。運動条件としては、実験室入室後90分間座位を保つ<座位条件>（以下座位とする）と、実験室入室後30分間座位、その後30分間4.5km/hのトレッドミル歩行、その後30分間座位を保つという<歩行条件>（同歩行）の2種類であった。

水2条件の水量を決定するにあたり、Heat Stress and Strain (ACGIH TLVsR, 2007)の表5暑熱負荷管理のガイドラインにある「20分毎に少量（コップ1杯程度）の冷たく、口当たりのいい水（またはほかの水分補充用飲料）を飲むことを推奨する。」を参考にし、歩行条件時の水2条件の水分量を1000gとし、同歩行条件時の水1条件の水分量の平均値が約654g、座位条件時の水1条件の水分量の平均値が約486gであったことから、それらの比より座位条件時の水2条件の水分量を740gとした。

表2 被験者別各条件の摂取水分量(単位:g)

被験者	水0座位	水1座位	水2座位	水0歩行	水1歩行	水2歩行
A	0	475	740	0	640	1000
B		474			633	
C		557			754	
D		456			613	
E		476			640	
F		490			662	
G		475			635	
H		492			662	
平均	0	486.9	740	0	654.9	1000
SD	0	30.4	0	0	43.1	0

(4) 実験スケジュール

図10に実験スケジュールおよび測定項目を示す。実験室入室前に直腸温センサーの装着を行い、その後準備したトランクスを着用し体重測定を1回目を行った。以上を済ませた後A室に入室し、指先血中ヘモグロビン濃度の1回目の測定と皮膚温および心電図測定準備を行い、30分経過後から体温、皮膚温および心電図の測定を開始し、以後血圧、脈拍数、主観的申告、視覚的反応時間（PVT）、自覚症しらべの測定を図示したタイミングで行った。30分後、被験者は暑熱環境のB室に移動し90分間滞在した。90分経過後、すみやかに2回目の指先血中ヘモグロビン濃度測定と体重測定を1回目と同じ着衣状態で行った。

飲水は、10分おきにA室で1回、B室移動後9回の計10回行った。毎回の飲水量は算出された量を10分割し飲水した。水温は室温と同じで、国産の軟水ミネラルウォーターを使用した。

体表面の汗については実験中は適宜自由にぬぐってもらった。

一連の実験は、平成21年8～10月に行われ、各被験者とも6条件を同じ時刻に行った。

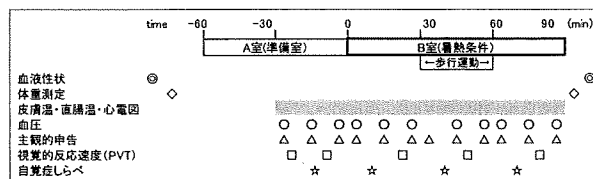


図10 実験スケジュール

(5) 測定項目について

皮膚温および直腸温については、LT-8および

付属センサー（ともにグラム社）を用い、皮膚温7点と直腸温を1分ごとに測定した。皮膚温7点よりHardy & DuBoisによる平均皮膚温を算出した。

耳内温はテクノサイエンス社耳用体温ロガーDBTLを用いて測定した。ロガーを外耳道に挿入した上から、実験中はロガーを固定させるために発泡スチロール製のカバーをかけて測定した。

血圧及び心拍数は、HEM-70007アジィ（オムロン社製）を用い、被験者右上腕にておよそ15分毎に測定した。

体重測定は、ザルトリウス社製の体重計を用い、1g単位で測定した。

指先血中ヘモグロビン濃度はシスメックス社製ASTRIM SUを用いて、近赤外分光画像計測法の原理をから非侵襲的に右手中指にて測定した。

主観的申告として、温冷感（9段階）、温熱的快不快感（4段階）、暑さに関する愁訴（吐き気、めまい、激しい疲労感、耐え難さ、のどのかわき）に関しては4段階で被験者に答えてもらった。

疲労の度合いに関して、自覚症しらべ（日本産業衛生学会産業疲労研究会提案）の調査用紙を用い、30分間隔で被験者に答えてもらった。

4. 実験2の結果および考察

(1) 平均皮膚温

図1 1-1は歩行時の、図1 1-2は座位時の、それぞれ被験者8名による平均皮膚温の平均値と標準偏差の経時変動を実験条件別に示す。歩行条件においては、平均皮膚温は前室では34.0℃前後であり、実験室入室後は水1 > 水0 > 水2の順で高くなった。

座位条件においては、平均皮膚温は前室では34℃前後であり、実験室入室後は水0 > 水1 > 水2の順で高くなった。

水条件および時間の二元配置の分散分析を行った結果、条件、時間に対し有意な主効果を

確認したものの、条件と時間の交互作用では有意な主効果は認められなかった。(条件:p<0.01、時間:p<0.01、交互作用:n. s.)

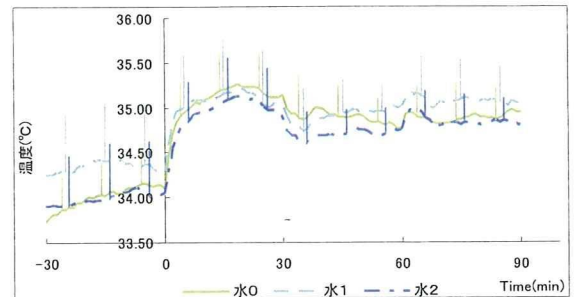


図1 1-1 平均皮膚温の経時変動（歩行時）

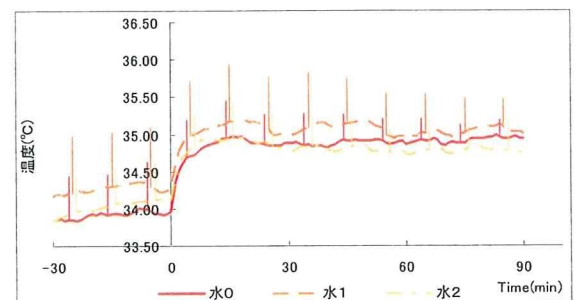


図1 1-2 平均皮膚温の経時変動（座位時）

(2) 直腸温

図1 2-1および1 2-2にB室入室時点を基準とした直腸温変化量の被験者8名の平均値±S. D.を、経時変動で示す。歩行条件時の直腸温はB室入室後最初の30分間程度は、水0水1条件に比べ水2条件ではより低下した。歩行開始後の30分以降の直腸温は0.4~0.5℃程度上昇したが、水0条件が最も上昇した。歩行停止後の90分以降は低下したが、低下幅は水1水2に比べ水0は小さかった。実験終了時の直腸温は、水2 < 水1 < 水0となった。座位条件では条件間で大きな違いは認められなかった。

水条件および時間の二元配置の分散分析を行った結果、条件、時間に対し有意な主効果を確認したものの、条件と時間の交互作用では有意な主効果は認められなかった。(条件:p<0.05、時間:p<0.01、交互作用:n. s.)

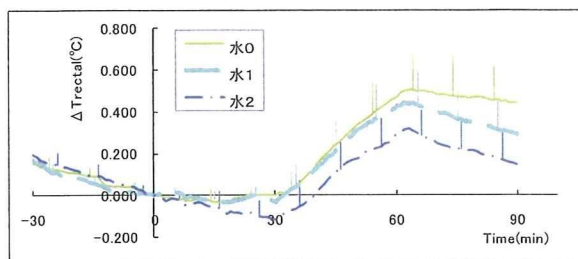


図 1 2-1 直腸温変化量の経時変動 (歩行時)

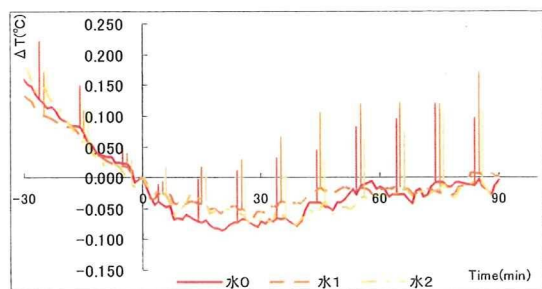


図 1 2-2 直腸温変化量の経時変動 (座位時)

(3) 耳内温

図 1 3-1 および 1 3-2 に B 室入室時点を中心とした耳内温変化量の被験者 8 名の平均値 \pm S. D. を経時変動で示す。歩行条件時の耳内温は直腸温と同様の傾向を示し、B 室入室後 10 分後程度から水 2 < 水 1 < 水 0 となり、歩行時、その後の安静時も差は縮小しなかった。直腸温に比べて変化は小さかった。座位条件時には水条件による違いは認められなかった。

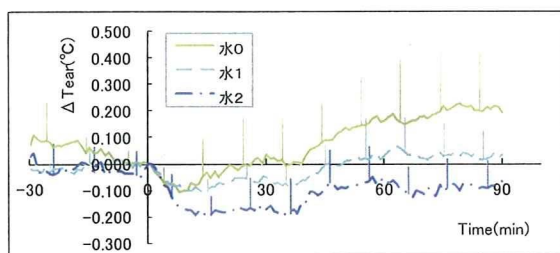


図 1 3-1 耳内温変化量の経時変動 (歩行時)

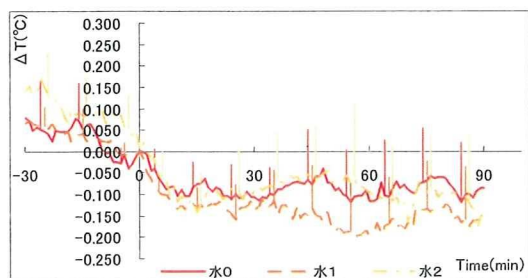


図 1 3-2 耳内温変化量の経時変動 (座位時)

(4) 脈拍数

図 1 4-1 および 1 4-2 に被験者 8 名による脈拍数の平均値と標準偏差の経時変動を実験条件別に示す。血圧同様、歩行条件では前室での -28 分、-13 分、-3 分および実験室での 2 分、7 分、17 分、27 分、32 分、37 分、47 分、57 分、62 分、67 分、77 分、87 分に計 15 回の脈拍数測定を行い、座位条件では上記の時間から 32 分、62 分を除いた計 13 回の脈拍数測定を行った。

歩行においては、安静時には毎分 65~75 拍程度、歩行時には約 35 拍上昇し毎分 105 拍程度の値であった。座位においては、歩行同様にほとんど同じような推移をしていたが、実験後半に水 0 の脈拍数が上昇する傾向がみられた。値は毎分 65~75 拍程度であった。

水条件および時間の二元配置の分散分析を行った結果、条件で有意効果が確認されたものの、時間、条件と時間の交互作用において有意な主効果は認められなかった。(条件: $p < 0.1$ 、時間: n. s.、交互作用: n. s.)

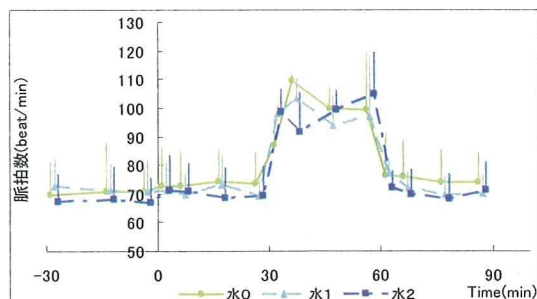


図 1 4-1 脈拍数の経時変動 (歩行時)

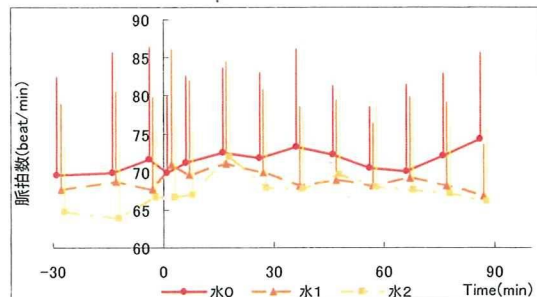


図 1 4-2 脈拍数の経時変動 (座位時)

(5) 血圧

図 1 5-1 および 1 5-2 に被験者 8 名に

よる収縮期血圧の平均値と標準偏差の経時変動を実験条件別に示す。歩行条件では前室での-28分、-13分、-3分および実験室での2分、7分、17分、27分、32分、37分、47分、57分、62分、67分、77分、87分に計15回の血圧測定を行い、座位条件では上記の時間から32分、62分を除いた計13回の血圧測定を行った。

歩行においては、どの条件もほとんど同じような値を推移しているが、水2においては87分の測定において低下する傾向がみられた。安静時には105~120mmHg程度、歩行時には約20mmHg上昇し140mmHg程度の値であった。座位においては、どの条件もほとんど同じような値を推移しており、110~120mmHg程度であった。

水条件および時間の二元配置の分散分析を行った結果、時間に対し有意な主効果を確認したものの、条件、条件と時間の交互作用では有意な主効果は認められなかった。(条件:n. s.、時間:p<0.01、交互作用:n. s.) なお、拡張期血圧についても同様の傾向が認められた。

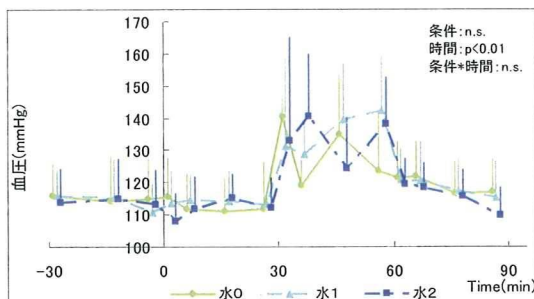


図15-1 収縮期血圧の経時変動(歩行時)

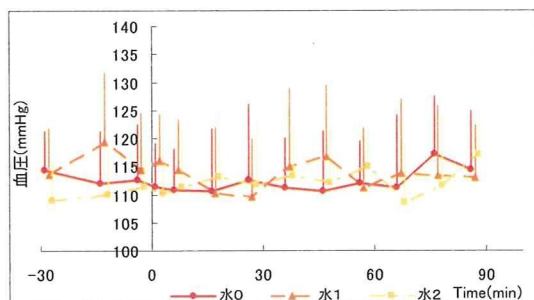


図15-2 収縮期血圧の経時変動(座位時)

(6) 体重減少量

図16に被験者8名の体表面積当たりの体重減少量(実験後の体重から実験前の体重と摂取

した水分量を引いたもの)の平均値と標準偏差を実験条件別に示す。座位条件では3条件とも約140g/m²、歩行条件では水0は234 g/m²、水1と水2は255 g/m²であった。分散分析の結果、運動の有無には有意差が認められた(p<0.01)が飲水条件には有意差は認められなかった。

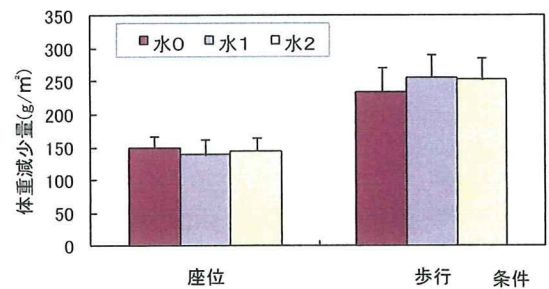


図16 体重減少量

(7) 指先ヘモグロビン濃度

図17に実験開始前と実験終了直後の血中ヘモグロビン濃度の被験者8名の変化量の平均値と標準偏差を実験条件別に示す。

座位においては、変化量は水0では0.3(g/dl)、水1では-0.7(g/dl)、水2では-0.5(g/dl)であった。また歩行条件においては、水0では-0.3(g/dl)、-0.6(g/dl)、-0.3(g/dl)であった。座位条件でも歩行条件でも、水1が最も大きく減少したが、有意差は認められなかった。

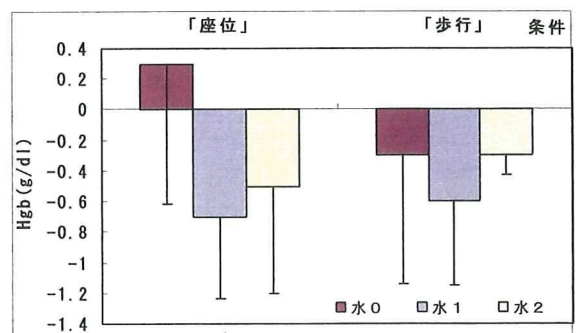


図17 指先ヘモグロビン変化量

(8) 温冷感申告

図18-1に歩行時の、図18-2に座位時の温冷感の経時変動を示す。歩行時では30~60minの間に温冷感が「暑い」側に移行し歩行

終了後の60~90minの間には急激に「涼しい」側に移行し、特に水2条件で顕著であった。また、座位時では水条件による違いはあまりみられなかった。

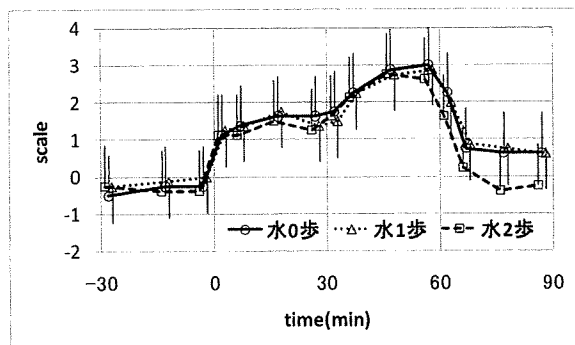


図18-1 温冷感申告の経時変動（歩行時）

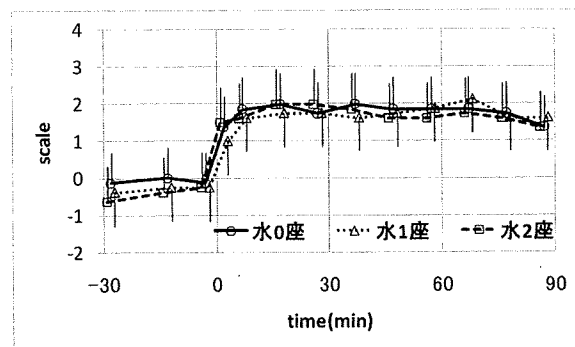


図18-2 温冷感申告の経時変動（座位時）

(9) 温熱的快適感申告

図19-1には歩行時、図19-2には座位時の温熱的快適感の経時変動を示す。0がもっとも快適という評価になり、負の値が大きくなるほど「不快」側の評価を示している。歩行時に30~60minの間に水1よりも水2の方が「快適」側になったが、座位時ではどの時間帯においても水1の方が水2よりも「快適」側になった。実験終了時には水条件による違いは殆ど認められなかった。

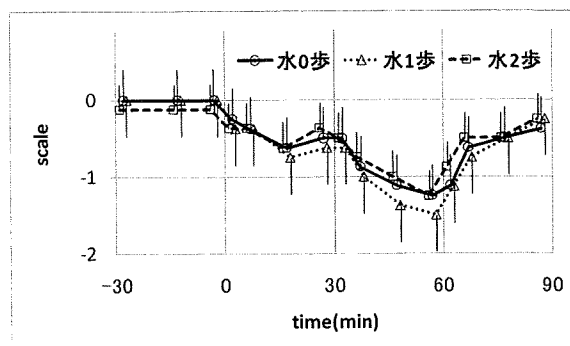


図19-1 快適感申告の経時変動（歩行時）

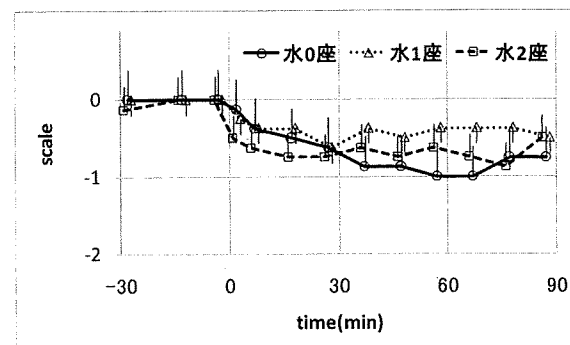


図19-2 快適感申告の経時変動（座位時）

(10) その他の愁訴

図20-1には歩行時、図20-2には座位時のどのの渴きの経時変動を図示する。0がどのの渴きを感じていない状態で値が大きくなるほどどのの渴きが増す。歩行時・座位時ともに水0に比べ、水1や水2ではどのの渴き感が大幅に改善していたが、水1と水2の差は小さかった。

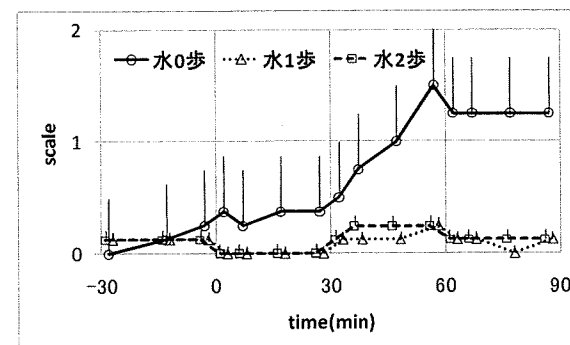


図20-1 のどの渴き感申告の経時変動（歩行時）

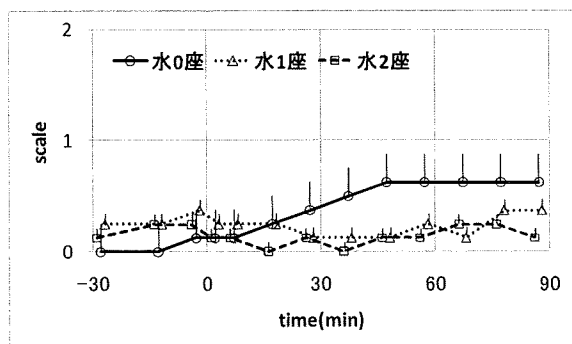


図20-2 のどの渇き感申告の経時変動（座位時）

図21-1には歩行時、図21-2には座位時の水量評価の経時変動を図示する。水量評価は0がちょうどよい、負の値の時には少なく感じ、正の値は多く評価していることを示す。

水量は、座位時においてどの時間帯にでも水2の方が水分が多く評価されていた。歩行時にも同様の傾向が認められたが、水1と水2の間の差は座位時より小さかった。

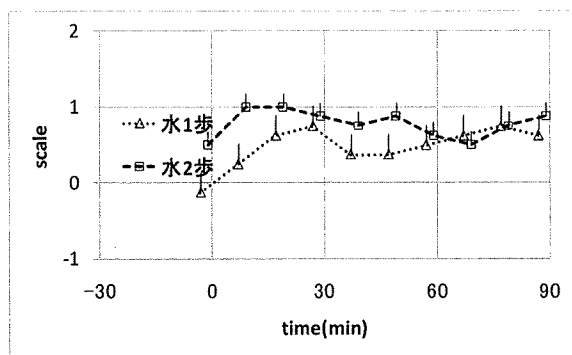


図21-1 水量評価の経時変動（歩行時）

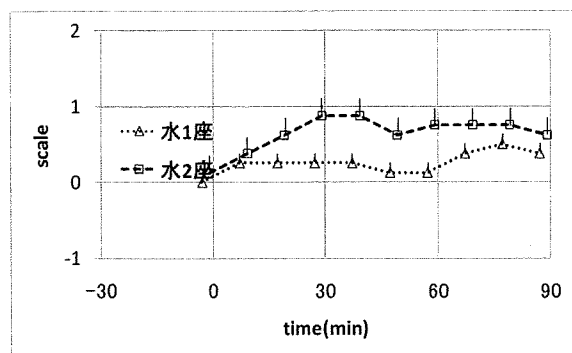


図21-2 水量評価の経時変動（座位時）

(11) 自覚症しらべ得点

図22-1には歩行時の、図22-2には座位時における自覚症しらべ得点の変化量（総得点の初期値を0とした場合の変化量）の経時変動を図示する。

自覚症しらべ得点は、歩行時には水0に比べ水1・水2条件で1点以上減少した。座位時には明確な傾向は認められなかったが、実験終了時には水2がもっとも得点が高かった（疲労感が高かった）。水1・水2間を比較すると大きな差は認められなかった。

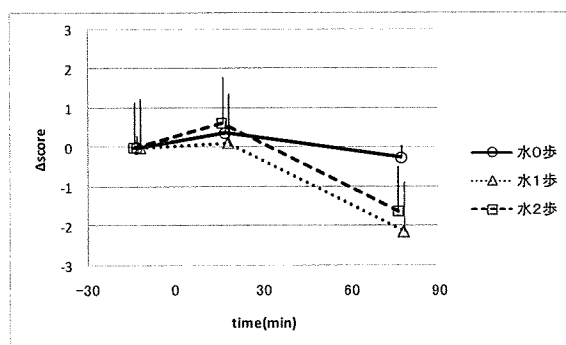


図22-1 自覚症しらべ得点変化量（歩行時）

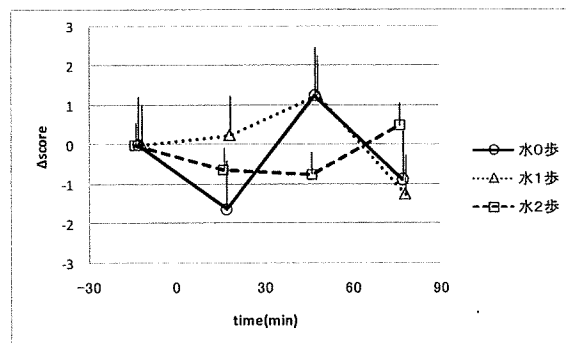


図22-2 自覚症しらべ得点変化量（座位時）

5. PHSモデル予測値と実測値の比較および考察

(1) 平均皮膚温の比較

図23に実験2におけるPHSモデルより算出される平均皮膚温の予測値と水1の歩行条件時の実測値の相関図を示す。どの時間においても殆ど全員の被験者で実測値が予測値よりも高い結果となった。これは今回の実験で用いた着衣の影響（長袖長ズボンで熱が逃げにくい）であると推察される。

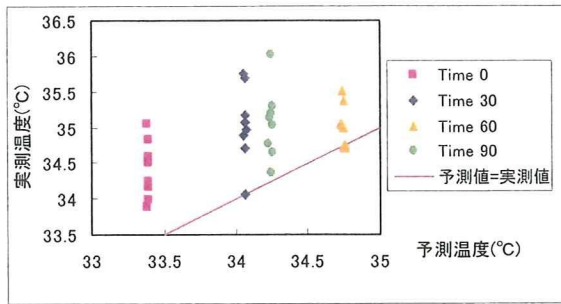


図 2.3 平均皮膚温の実測値と予測値の比較
(水 1 条件)

(2) 直腸温および耳内温の比較

図 2.4 に同じく実験 2 の PHS モデルより算出される体内温の予測値と水 1 歩行条件時の直腸温実測値の相関図を示す。8 名の被験者のうち、5、6 名の被験者の直腸温が予測値より低く、2、3 名の被験者ではやや高くなった。平均としては予測値より実測値は低くなった。

図 2.5 に同様に PHS モデルより算出される体内温の予測値と水 1 歩行条件時の実測値(直腸温、耳内温)の平均値と標準偏差を時間別に示す。直腸温平均値はどの時間においても予測値より低くなったが、歩行終了時の 60 分では、直腸温実測値が予測値以上に上昇傾向にあった。その後、予測値より直腸温は低くなった。耳内温は 0 分時および 30 分時には予測値とほぼ同じ値となったが、その後は予測値より低い値となった。

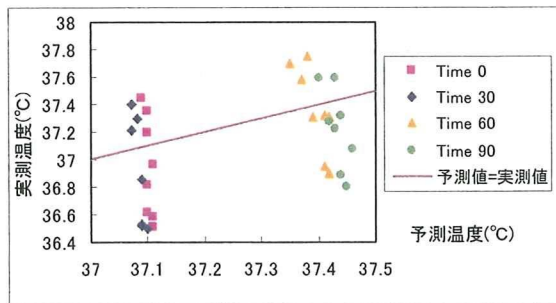


図 2.4 直腸温の実測値と予測値の比較 (水 1 条件)

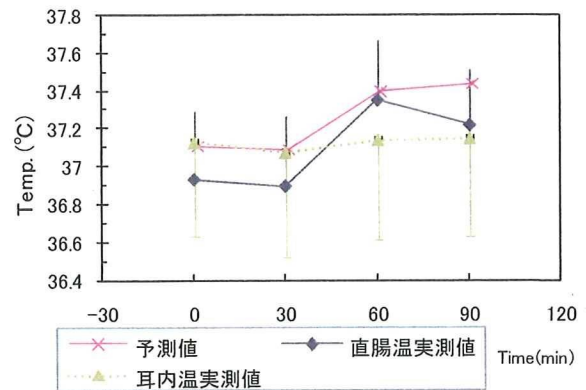


図 2.5 体内温予測値と直腸温および耳内温
実測値 (平均値+S. D.)

(3) 体重減少量の比較

図 2.6 に実験 2 において PHS モデルより算出される歩行時の体重減少量予測値と実測値の関係を相関で示す。8 例すべてで予測値より実測値の方が少なかった。図 1.5 の体内温の結果とも合わせて考えると、PHS モデルによる水分摂取には体温上昇の抑制効果が十分にあると考えられる。

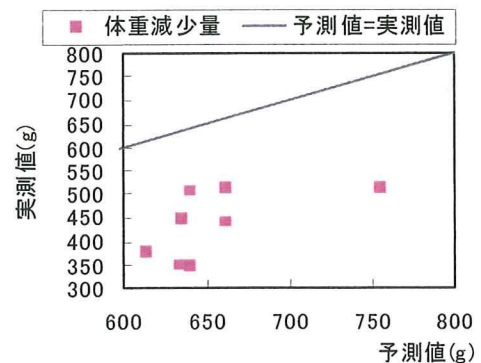


図 2.6 体重減少量予測値と実測値 (平均値+S. D.)

5. おわりに

暑熱環境に男性被験者をばく露し、その時の暑熱環境における飲水量の違いが人体生理・心理反応に及ぼす影響を検討する目的で 2 種類の実験を行った。その結果、無飲水条件に比べ飲水条件では体内温が低下し、主観的申告が「涼しい」側になった。また、PHS モデルより算出された予測値と実測値を比較した結果、体内温は予測値より実測値が低く、体重減少量も