

jh160008-NAH

熱中症リスク評価シミュレータの開発と応用

平田晃正（名古屋工業大学）

概要 外部の物理的熱負荷（外気温、太陽光）に対し、ヒトの体温は上昇し、熱調整反応が生じる。熱中症を発症する際には、体内において過度の体温上昇、または発汗が生じた状況になっている。このことから、複合物理およびシステムバイオロジーに基づく生理応答を連成させた解析を用い、様々な条件において成人（若者）と高リスク群（小児・高齢者）における相違を理解する必要がある。シミュレータの高速化を行うとともに、様々な人体モデルに対する基礎データを取得、データベース化し、気象データと連携したシステムを構築した。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名

東北大学

(2) 共同研究分野

- 超大規模数値計算系応用分野
- 超大規模データ処理系応用分野
- 超大容量ネットワーク技術分野
- 超大規模情報システム関連研究分野

(3) 参加研究者の役割分担

（代表）平田 晃正 名古屋工業大学

熱中症シミュレーション・ソースコードの改良と研究統括

（副）江川 隆輔 東北大学サイバーサイエンスセンター

ソースコードの最適化、チューニング担当

（副）田中 悟志 浜松医科大学医学部
生理学的モデル化

○田口 健治 北見工業大学

気象データの取込コード作成、計算実施補助

○堀江 祐圭 日本気象協会

気象データの提供と解析結果の考察

○西尾 渉 名古屋工業大学

コードの並列化

○小島 和也 名古屋工業大学

熱ばく露解析の実施とデータ処理

○橋本 陽太 名古屋工業大学

コードの並列化

2. 研究の目的と意義

外部の物理的熱負荷（外気温、太陽光）が存在すると、ヒトの体内温度が上昇し、それに伴い生体の熱調整反応が生じる。熱中症を発症する際には、体内において過度の体温上昇、または発汗が生じた状況になっている。このことから、複合物理およびシステムバイオロジーを連成させた解析を開発すれば、様々な条件において成人（若者）と高リスク群（小児・高齢者）における相違を解明し、普及啓発活動への応用が期待できる。特に、熱中症の発症する周辺環境は、高温多湿などの共通のパラメータもあるものの、服装、労働あるいはスポーツ環境など個人差が大きく、かつ周辺環境は時々刻々と変化する。本研究では、これらの要因を考慮し、生体内における各種パラメータ変化を時間的に追跡、普及啓発活動に用いるデータの取得を目的とする。特に、シミュレータの高速化および様々な人体モデルに対する基礎データの取得（データベース化）を行うものとする。

地球温暖化に加え、2011年の大震災以降、節電が叫ばれる中、「熱中症」への取り組みが社会的関心事となっている。また、欧米でも熱波による熱中症死者数が増加傾向にある。熱中症患者の中でも、特に、高リスク群である小児および高齢者に対して関心が持たれている。小児については車内放置が社会問題となっており、2011年7月、警察庁はパチンコホール団体へ再発防止対策の徹底を要請している。一方、熱中症で救急搬送された患

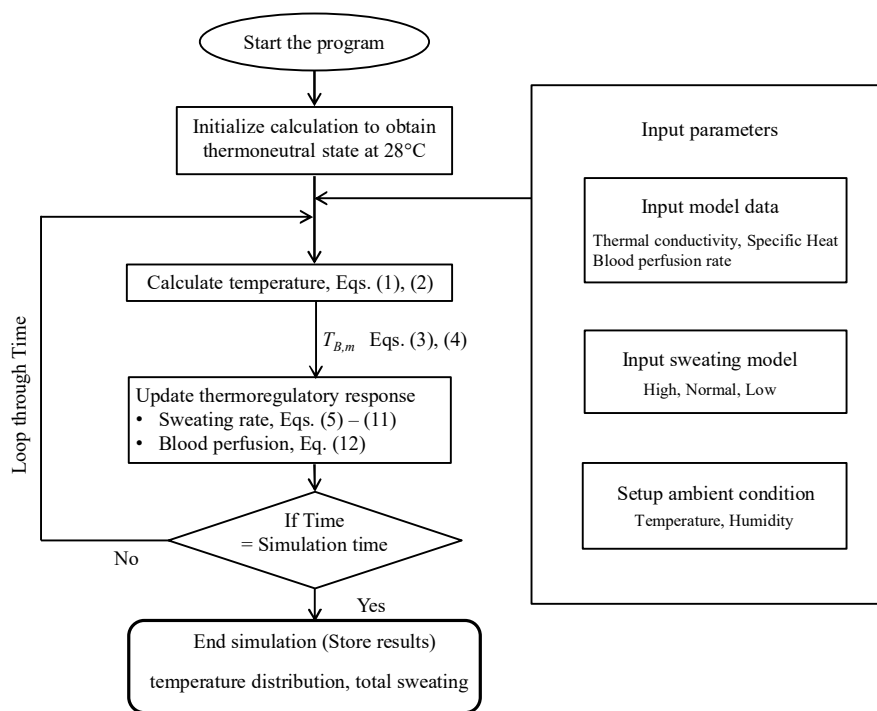


図 1. 体温上昇解析のフローチャート

者の 40%が高齢者であり、啓発活動が行われているものの高い水準に変化はない。これらのハイリスク群の人々の熱中症に関する知見は、生理学の考察あるいは救急医療に基づく対症療法がほとんどである。換言すれば、年齢による体温上昇、発汗の相違など工学・物理見地からのリスク評価を行い、かつその成果に基づく普及啓発が十分ではなかったといえる。本研究は、高精度かつ視覚化したリスク評価データに基づき、普及啓発に有意な資料を提供するものである。例えば、以下のような意義が挙げられる。

- (1) 高齢化社会の到来に伴って肉体労働者が高齢化しており、職業環境（プラント、建設現場など）における熱中症対策が急務である。例えば、同じ職場においても、日時によって熱負荷は異なり、年齢によっても体温変化や生理反応は異なる。それを事前に視覚的に示すことは対策につながる。
- (2) 職業環境下、あるいは猛暑環境におけるスポーツ（2020 年 7 月～8 月東京オリンピックなど）の実施および観戦においてリスク情報を提供でき、対策を促すことが期待できる。
- (3) 熱中症に関する教育は、現在、中学生を対象と

した技術家庭の時間で実施されており、一部の教科書では申請代表者らの成果を採用、今後、更なる高信頼性化による若年者を中心とした国民教育へ一層の貢献ができる。

(4) 計算により得られた情報をデータベース化し、気象データと連携、提供することができれば、熱中症リスクに対する新たな対策指標として期待できる。

3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

当研究グループでは、これまで時間領域差分法による生体に関わる電磁界および熱シミュレーションコードの開発を行ってきた。計算解剖人体モデルは、情報通信研究機構が開発したものであり、組織数 67 を考慮し、解像度は 2mm、4500 万点において物理計算を行う。その際、人体を構成するそれぞれの組織に、太陽光ばく露に対しては電気定数を、外気温に伴う温度上昇には熱定数を割り当てて解析する。特に、熱負荷に対する体温変化の解析では、皮膚あるいは体内深部に存在する温度センサーにより、温度上昇を軽減する作用、いわゆる体温調整機能（血流および発汗率）が変化

```

MODELX=160      MODELX=160
MODELY=320      MODELY=320
MODELZ=866      MODELZ=866

DO K = 1, MODELZ  DO I = 1, MODELX
DO J = 1, MODELY  → DO J = 1, MODELY
DO I = 1, MODELX  DO K = 1, MODELZ
TEMP(I,J,K)      TEMP(K,J,I)
END DO            END DO
END DO            END DO
END DO            END DO
END DO            END DO
    
```

図 2. ベクトル化に適したループ

する。また、湿度、あるいは発汗量により、体表面の状況は時々刻々と変化し、冷却効果などを含めた精緻な計算がある。この解析手法は、サウナにいた状態の体温変化を概ね模擬できることで有効性を確認してきた。

生体を用いた実験が倫理的側面から限定される本問題に関し、社会的ニーズとして熱中症データの蓄積に加え、準リアルタイムシミュレータを構築できれば、特殊環境におけるリスク評価も実施できる。代表者が開発したコードを市販のワークステーションで解析した場合は、16 時間程度の解析時間を要するため、本研究目的である①高速化、②データの蓄積、ともに不適である。そこで、現在、共同研究者（東北大学サイバーサイエンスセンター）と従来のベクトル型スーパーコンピュータ SX-9 における動作確認、さらには新たに導入されるスーパーコンピュータシステム SX-ACE への移植について検討を行っている。この研究の特徴は、ミリメートル程度の分解能を考慮した電磁界・熱の物理計算（4500 万格子点）に加え、（ベクトル化、並列化に工夫を要する）ヒトのシステムバイオロジーを定式化し、高速に複合解析を実施する点にある。しかし、高速化を行う上でベクトル化効率の向上が必要不可欠となるため、専門的知識が必要となる。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

4.1. 解析の手順

体温上昇解析のフローチャートを図 1 に示す。図より、解析を実行すると、始めに温熱中間体（外

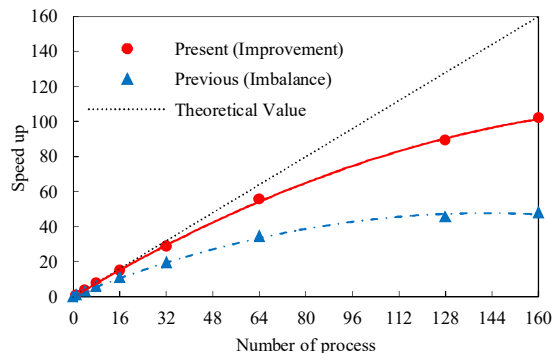


図 3. 並列プロセス数の増加に対する計算時間の加速率

気温 28°C) における熱定常状態温度分布を初期値として読み込む。次に、人体モデルや発汗モデルの設定、また外気温などの環境設定を入力する。なお、太陽光による体内吸収電力もあらかじめ解析しておき、入力データと考える。熱の時定数は浅部で数分、深部で 30 分程度であるのに対し、電磁波解析において定常に達するのは瞬時であるため、一度の計算を実施するだけでよい近似となる。最後に、生体熱輸送方程式による温度上昇を計算、またその計算を行う際、発汗率の変化や血流量の変化など、熱調整機能を組み込んだ計算を行う。特に、物理計算と異なり、温熱生理（システムバイオロジー）の部分は、条件文などを含み、高速化には適していないアルゴリズムである。そのようなアルゴリズムに対して、maskなどを生成させることにより、できるだけベクトル化および並列化に適した形に変更を加えた。以下の節では、その概略を述べる。

4.2. ベクトル化

東北大学が有するスーパーコンピュータ SX-ACE はベクトル処理を活用すると、高い性能を得ることができるため、ベクトル計算に適した計算コードを作成する必要がある。言語は fortran90 にて記載している。最内側のループ長を最長にすることで、ノード当たりの計算要素数を増加させることが可能となる。このように、さまざまなループレベル最適化を施すことで、ベクトル化率とノードあたりの性能を向上させた（図 2

参照)。

4.3. 並列化

コードを並列化する際、MPI(Message Passing Interface)を用いて並列化を行った。MPI とは、分散メモリ間のデータ処理分割やデータ転送を担うメッセージパッシングの標準規格であり、コードから呼び出すサブプログラムのライブラリである。MPI を用いて並列化を行った理由として、並列化手法には、タスク並列用の自動並列化や OpenMP(Open Multi-Processing)、データ並列用の MPI などがある。今回、解析コードを並列化する上で、タスク並列と MPI を併用したハイブリッド MPI、MPI のみを用いたフラット MPI をそれぞれ実装して、実行時間を比較した。その結果、フラット MPI の方が効率よく計算を高速化できたため、フラット MPI を用いた。

具体的に行った並列化処理としては、人体モデルを Z 軸方向各平面に分割し、それぞれの 1 平面を 1 プロセスとして割り当てた。

異なる並列プロセス数に対し、並列プロセス数の増加に伴って並列処理効率が顕著に低下することはなく、加速率は上昇した。しかしながら、理論値 64 倍に対して、並列プロセス数が 64 の場合に得られた加速率は、34.6 倍となった。これは主に演算量のインバランスによる並列化率の低下や、ノード間通信時のデータ転送量が増加する際に発生する遅延によるものと考えられる。

5. 今年度の研究成果の詳細

5.1. ベクトル化

スーパーコンピュータ SX-ACE はベクトル型の計算機であり、1CPU あたり 256GFLOPS という高いベクトル演算性能と、256GB/s という高いメモリバンド幅を有している。解析コードに対して SX-ACE 向け高速化を目的とし、前年度に引き続き、ベクトル化促進のための更なる最適化を行った。

前年度は、図 2 に示したように、多重ループ構造における最内ループの反復回数(ループ長)を

大きくしたことにより、ベクトル化率を向上し、効率的なベクトル計算を可能にした。それに対し今年度は、作業配列の導入によるベクトル化の促進、明示的インライン展開によるサブルーチン呼び出しオーバーヘッドの削減、データサイズの大きいインプットデータおよびアウトプットデータをバイナリ化することによるファイル I/O の最適化を施すことで、コアあたりの実効性能を向上させた。

5.2. 並列化

前年度に引き続き、MPI (Message Passing Interface) を用い、解析コードの並列化を行い、演算量のインバランスの解消に取り組んだ。具体的には、熱調整反応計算コードの最適化を行った。熱調整反応計算である発汗計算は皮膚組織のみで計算を行っているため、他組織と判別を行う条件分岐(IF文)がコードの計算ループ内に存在している。SX-ACE では、この条件分岐に伴う逐次計算がベクトル化率を低下させる要因となる。さらに各平面における皮膚組織の有無により各プロセスの計算量に差が生じ、これがノード間における計算量のインバランスを引き起こしていた。そこで、発汗率を全身に分布化させる計算手法を実装することで、プロセスごとの計算量のインバランスを解消した。

また、従来手法では、全身に対して同値の発汗率を用いて発汗量を全身の皮膚に均一に配分しており、部位ごとの発汗量、つまり部位に依存する発汗率を模擬していなかった。それに対して、本解析では部位に依存する発汗率を解析に組み込むことを提案、および実装することで全身の総発汗量を部位ごとに分布化させた。

異なるプロセス数の増加に対する計算時間の加速率を図 3 に示す。計算量のインバランス改善前、改善後、それぞれにおける加速率を示している。図より、プロセス数の増加に伴い、それぞれの加速率は上昇しているが、プロセス数 160 の加速率の理論値 160 倍に対して、改善前は、加速率 48 倍となり、並列化率は理論値の 30%であった。一方

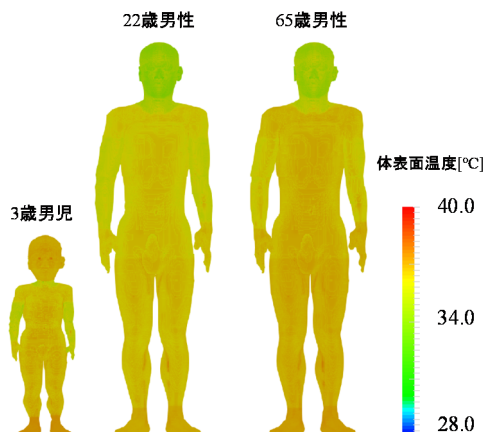


図 4. 体表面温度の分布

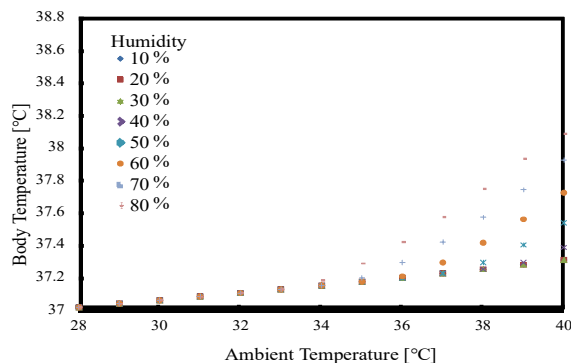
改善後は、加速率は 102 倍となり、並列化率は理論値の約 64%と大幅に改善出来たが、理論値との差は未だ大きい。今後は初期値の設定やファイル I/O などの非並列化部分の並列化や、データ通信方法の最適化を行い、更なる並列性能の向上を進める予定である。但し、このためには並列化に不適な温熱生理モデルの改良が必要であり、合わせて進めていく予定である。

並列化、ベクトル化を行ったコードを用い、暑熱ばく露における体表面温度上昇を解析した（外気温：40°C，湿度 50%）。解析結果を図 4 に示す。図より、3 歳児の温度上昇が最も大きく、次に 65 歳男性の温度上昇が大きくなる事が確認できる。3 歳児については、体積が他のモデルよりも小さく、全身に熱が循環しやすいためと考える。また、65 歳男性については、発汗機能の相違によるもので、高齢者は若年者よりも発汗量が少なく、発汗の開始が遅れたためである。

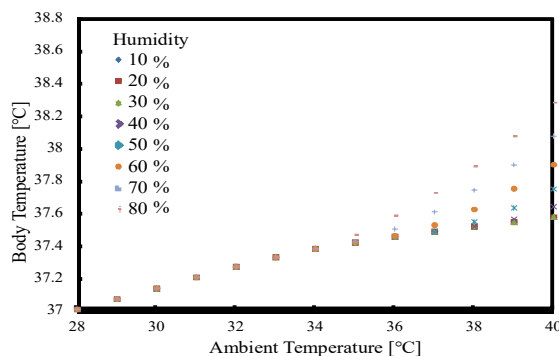
上記の解析に要した計算時間は、3 歳児、22 歳男性、65 歳男性それぞれ 6 秒、15 秒、および 17 秒程度となった。それぞれの計算時間の差異は、モデルサイズ（解析領域）の差異によるものと、発汗計算における年齢考慮のためのアルゴリズム追加によるものである。

5.3 データベース化（中間報告書以降）

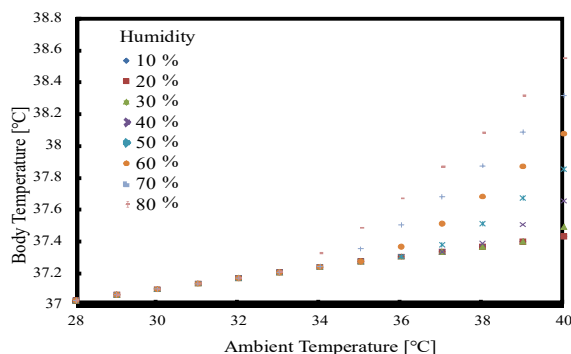
現在、気温や湿度、屋内外の様々な暑熱環境下における年齢、性別に応じた準リアルタイムでの



(a)



(b)



(c)

図 5. 外気温と体内深部温度の相関性
(a)22 歳, (b)65 歳, (c)3 歳男性モデル
(暑熱ばく露時間：1 時間)

熱中症リスク評価提供を目的とし、体温変化や発汗量等の解析結果のデータベース化を行っている。本年度は、全国の夏場を想定し、外気温 28°C～40°C (1°C刻み)、相対湿度 10%～80% (10%刻み)、太陽光（晴れ、曇り、室内）、運動強度（静止、軽い運動、適度な運動、激しい運動）を考慮した、計 5472 パターンの解析を行った。なお湿度 0%、90%

～100%は日本の夏場環境として存在するのが稀なため除外した。対象モデルは、3 歳児、22 歳男性、65 歳男性モデルの 3 体とした。

データベース化の 1 例として、様々な暑熱環境条件との体内深部温度上昇と総発汗量の相関関係について図 5 に示す。図より、湿度が高くなるほど、外気温の上昇に伴う体温上昇率が高くなることが確認できる。これは湿度が高くなると、汗による蒸散熱量が減少するためである。

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

本課題では、マルチノード利用によるペタフロップス級計算を可能とする熱ソルバーのアルゴリズム開発と、大規模ベクトル計算基盤における高効率計算を可能にする超並列化およびベクトル化技術の研究開発に取り組み、実用的な大規模解析手法の構築を目指した。現在、直交格子の課題である体表面の解像度を補うアルゴリズムの改良、また、ヒトの生理学的モデル化に関わるコードのベクトル化およびその評価を行い、副代表である東北大学サイバーサイエンスセンター・江川との協力により解決を目指した。概ねインバランスの問題を解消したため、高分解能モデルの解析など実データの取得を開始した。7-8 月のマスメディア対応で一時的に計算利用量が落ち込んだが、概ね順調かつ継続的に計算機を利用している。

① SX-ACE への実装のためのプログラムチューニングおよび試験計算（通年）

年度最終目標であるデータベースの構築に加え、気象データとの連携を視野に、準リアルタイム熱中症リスクを目指し、可能な限りの高速化を行った。主担当は、副代表者の江川を中心に、代表者・平田および大学院生が補佐する。同時に、平田と田中で生理現象の定式化を改良する。項目①以降も、随時、チューニングを行う。成人男性を 2mm の解像度で実施した場合、1 条件（1 時間の環境）に対し、約 42 秒で解析が可能となった。一概には比較できないものの、一般的なワークステーション（CPU : Intel® Xeon® W5590 @3.33GHz、4 コア×ア）において、7～16 時間程度（状況、生

理反応のモデル化による）必要であったことを付記する。

②成人男性モデルを用いた熱定数、熱生理機能の個体差の体温変化に与える影響の試算（2016 年 8 月～終了）

前年度に引き続き、解析の高精度化を行うに従い、随時様々な状況下における解析のパラメータを確認し、これまで報告されている実測例と比較、項目①の有効性を確認する。特に、発汗能力の差（5 パターン程度）の影響について検討する。申請書に記載したように、7-8 月にかけてマスメディアによる取材対応を行い、暑熱日、ピンポイントの環境を模擬した解析を行うことで、ニーズの抽出および普及啓発に役立てた（Yahoo!ニュース、IT・科学部門 3 位（1,2 位はポケモン GO に関するもの））。

③インバランスの解消と計算結果の蓄積（2016 年 4 月～8 月）

熱調整系のモデル化に伴うインバランスの問題を解決した。これにより、解決前に比べ、更に即時的な処理が可能となった。また、様々な状況下における解析のパラメータを確認し、これまで報告されている実測例と比較、項目①の有効性を確認した。

④複数人体モデルに対する様々な気象環境における解析試算およびデータベースの構築（2016 年 9 月～2017 年 3 月）

また、中心となる 3 体（成人男性モデル、子供モデル（3 歳）、前期高齢者）について、日本の夏場を想定し、様々な気温と湿度で解析を実施し、データベース化を行った。当初予定していなかった、運動量の変化に対する解析も実施した。解析結果を、気象データと連携することで、屋内における熱中症リスクのリスク評価を手軽に行えるよう、新たなシステムにデータ提供した（日本気象協会）。2017 年 4 月 25 日より、熱中症ゼロへの公式ホームページ内において展開されるコンテンツ『熱中症セルフチェック』（<https://www.netsuzero.jp/selfcheck>）として導入された。これにより熱中症予防への普及・啓発に更

なる貢献ができるものとする。計算条件が申請書より若干相違があるのは、共同研究者間で国民への資料提示の第一歩として、その選定を行ったためである。

今年度の検討でロードインバランスが一定以上解消されたが、データ通信方法の最適化を行い更なる高速化に向け、並列化効率の向上を試みる。また、温熱生理モデルの定式化などベクトル化に難点のある部分を併せて工夫していく必要がある。

また並行して、微細な体温変化まで忠実に再現するために分解能を 1mm とした解析に向け、プログラムのチューニングを進めている。特に、本年度の試算において、太陽光の影響を正確に考慮するには少なくとも 0.5mm 以上の分解能が必要であり、今後、更なる検討を進めていきたい。

データベース化は、啓発活動の第一歩として、中心となる 3 体のモデルに対し、かつ軽装という限定された条件についてであった。今後、日本の実際の環境を考慮し、種々の場合に対する解析を実施、現実に即した屋内外における熱中症リスク評価を目指す。さらなる改善によって、気象データとの連携による準リアルタイムでのリスク評価技術を構築、さらには今後の地球温暖化を見据えた新規シミュレーション基盤技術の開発を目指していきたい。

7. 研究成果リスト

(1) 学術論文

西尾渉, 小寺紗千子, 平田晃正, 佐々木大輔, 山下毅, 江川隆輔, 小林広明, 曾根秀昭, “太陽光および暑熱同時ばく露に対する熱中症リスク評価シミュレータの開発,” 電子情報通信学会和文論文誌(C), vol.J98-C, no.5, 2017 (掲載予定) .

(2) 国際会議プロシーディングス

なし (1 件投稿中)

(3) 国際会議発表

なし

(4) 会議発表(口頭, ポスター等)

a) 西尾渉, 平田晃正, 佐々木大輔, 山下毅, 江川隆輔, “熱中症リスク評価シミュレーションにおける高速化に関する一検討, 中症信学技報, EST2016-63, Oct. 2016.

b) 小島和也, 西尾渉, 平田晃正, 江川隆輔, “気温の高さ方向依存性を考慮した熱中症リスク評価手法の開発, 温の信学技報, EST2016-64, Oct. 2016.

c) 西尾渉, 小島和也, 平田晃正, “熱中症リスク評価シミュレーションにおける物理計算の実装方法に関する一検討,” 信学技報, EST2016-113, Jan. 2017.

d) 小島和也, 諸戸孝明, 小寺紗千子, 平田晃正, “数値シミュレータに基づく熱中症リスク評価データベースの構築,” 電子情報通信学会総合大会 C-15-18, March 2017.

その他 (特許, プレス発表, 著書等)

A) 中日新聞, 2016 年 7 月 26 日, 朝 25 面, 熱中症リスク 世代別表示

B) 北海道建設新聞 2016 年 7 月 28 日, 名古屋工大などが熱中症リスクの評価システムを開発

C) 共同通信社配信 2016 年 7 月 29 日, 高齢者熱中症危険裏付け (以下、掲載新聞社 (把握分))

1. 産経新聞 2016 年 7 月 29 日夕 11 面, 同日 Web 版

2. 東京新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版

3. 中日新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版

4. 北海道新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版

5. 岩手日報 2016 年 7 月 29 日 33 面

6. 秋田魁新聞 2016 年 7 月 31 日 28 面, 29 日 Web 版

7. 山形新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版

8. デーリー東北 2016 年 7 月 29 日 Web 版

9. 河北新聞 2016 年 7 月 30 日 26 面, 29 日 Web 版

10. 東奥日報 2016 年 7 月 29 日 Web 版

11. 福島民報 2016 年 7 月 29 日 Web 版

12. 福島民友 2016 年 7 月 29 日 Web 版
13. 下野新聞 2016 年 8 月 6 日 18 面, 7 月 29 日 Web 版
14. 茨城新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
15. 上毛新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
16. 千葉日報 2016 年 7 月 29 日 Web 版
17. 神奈川新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
18. 信濃毎日新聞 2016 年 7 月 29 日夕 6 面, Web 版
19. 静岡新聞 2016 年 7 月 29 日夕 2 面, Web 版
20. 北日本新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
21. 富山新聞 2016 年 8 月 3 日社説
22. 北國新聞 2016 年 8 月 3 日社説
23. 福井新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
24. 京都新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
25. 大阪日日新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
26. 神戸新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
27. 山陽新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
28. 中国新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
29. 日本海新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
30. 山陰中央新報 2016 年 7 月 29 日 Web 版
31. 四国新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
32. 愛媛新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
33. 徳島新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
34. 高知新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
35. 西日本新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
36. 大分合同新聞 2016 年 7 月 29 日夕 10 面 29 日 Web 版
37. 宮崎日日新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
38. 長崎新聞 2016 年 7 月 29 日 Web 版
39. 佐賀新聞 2016 年 7 月 29 日 2 面, 29 日 Web 版
40. 熊本日日新聞 2016 年 8 月 5 日夕 3 面, 7 月 30 日 Web 版
41. 琉球新報 2016 年 8 月 9 日 21 面版
- D) 毎日新聞, 2016 年 7 月 31 日, 朝 25 面, 熱中症リスク やはり幼児高く 名工大が判定システム開発
- E) 化学工業日報, 2016 年 8 月 3 日, 5 面, 名古屋工業大など 気象データと連動し熱中症リスクを評価
- F) 富山新聞及び北國新聞, 2016 年 8 月 3 日 2 面, 社説
- G) 薬事日報, 2016 年 8 月 8 日 8 面, 熱中症リスク評価システム, 気象データ組み込み開発
- H) 朝日新聞, 2016 年 8 月 18 日, 3 面, 名工大・東北大など スパコンで計算 3 歳 熱中症リスク
The Asahi Shimbun, 2016 年 8 月 18 日, 3-year-old can get heat stroke in just 29 minutes without warning
- I) 信濃毎日新聞, 2016 年 8 月 19 日, 3 面, 社説=熱中症 幼児と高齢者に目配りを
- J) 名古屋テレビ (ドデスカ!) 子供、高齢者の熱中症メカニズム, 2016 年 7 月 4 日
- K) 岩手放送 (神山アナの気象と防災マメ知識!) 子供の路上での熱中症, 2016 年 7 月 30 日 (岩手): 資料引用
- L) 北日本放送 (いっちゃん! KNB)、幼児の熱中症について, 2016 年 8 月 2 日 (富山): 資料提供, 協力
- M) NHK (ほっとイブニング) 熱中症リスク評価システム, 2016 年 8 月 10 日 (東海地区)
- N) NHK (ニュース 845) 熱中症リスク評価システム, 2016 年 8 月 10 日 (東海地区)
- O) NHK ワールド (NHK ワールド・プレミアム), 熱中症リスク評価システム, 2016 年 8 月 10 日 (国際)
- P) フジテレビ (めざましテレビアクア) 3 歳児の熱中症リスク計算, 2016 年 8 月 18 日 (全国): 資料引用