

LF/HFを用いた時空間ストレス指標の提案

内村 麻里奈^{1,a)} 江口 由記^{1,b)} 川崎 美波^{1,c)} 吉井 直子^{1,d)} 梅田 智広^{1,e)}
高田 雅美^{1,f)} 城 和貴^{1,g)}

概要：人間にとって快適な環境とはその環境下でどれくらいの割合で人がストレスを感じないかという指標で与えられるべきである。この環境とは時空間に渡るものであり、同じ場所でも時間帯や季節によってその指標は変動すべきものである。そこで、本論文では、ある時空間にいる多数の人間のストレスレベルを集約分析することで時空間ストレス指標を得ることを提案する。また、既に報告した個人のストレスレベルを時空間でリアルタイム表示させるツールの機能を拡張することで、多数の人間のストレスレベルを表示させるツールを試作する。このツールを利用することで、直観的に時空間ストレス指標を確認し、ストレスが高い場所を回避することもできる。よって、時空間ストレス指標を用いることで、ストレスを避けることが可能となり、より快適な生活を送ることができる。

キーワード：ストレス、環境指標、心拍センサー、ヘルスケア

Spatiotemporal stress indicator using LF/HF

Abstract: Comfortable environment for humans should be evaluated by indicator which is how many people do not have stress there. This environment represents spatiotemporal space. The indicator should change depending on time and season not even the same place. In this paper, we suggest a spatiotemporal stress indicator which is calculated for aggregating and analyzing many people's stress levels in spatiotemporal space. In addition we expand the tool, which displays individual stress levels in real time spatiotemporal space, to display other people's spatiotemporal stress levels. Using this tool, it is possible to avoid going to the place which have a high stress level by confirming spatiotemporal stress levels intuitively. Thus, it helps to spend our healthy life by using a spatiotemporal stress indicator.

Keywords: stress, environmental indicator, heart rate sensor, healthcare

1. はじめに

健康を維持するためには、自身の身体状態を知る必要がある。また、身体の異常を早期に発見することで、病気を防ぐことができる。身体の異常を早期に発見するためには、つねに心拍、血圧、体温などのバイタルサインを計測し、異常がないか確認することが有効である。しかし、既存の方法は意識的に測定し情報を入力するものであり、そ

の煩わしさが継続的なバイタルサインのチェックを困難にする。特に一般市民がそのような継続的健康管理を行うことは、事実上不可能であろう。そこで、我々は利用者が無意識に利用できるスマートヘルスケアナビゲーション (SHN: Smart Healthcare Navigation) システムを開発している。SHN システムでは、複数のセンサデバイスでバイタルサインを計測し、携帯端末を用いて当該バイタルサインをクラウドに送り、クラウド上に構築された知識ベースを利用して当該バイタルサインに問題がないか自動的に判断する。そして、その情報から利用者に関係するレコメンドを行う。利用者は、センサデバイスを付けるだけで、日常生活に支障なく自身の身体情報を常時計測でき、クラウドでの知的処理により身体の状態を知ることができる。

¹ 奈良女子大学

Nara, Nara, 630-8506, Japan

a) uchimura-marina0806@ics.nara-wu.ac.jp

b) eguchi-yuki0910@ics.nara-wu.ac.jp

c) kawasaki-minami0917@ics.nara-wu.ac.jp

d) yo9728ha@ics.nara-wu.ac.jp

e) umeda@cc.nara-wu.ac.jp

f) takata@ics.nara-wu.ac.jp

g) joe@ics.nara-wu.ac.jp



図 1 心拍データ

我々は SHN システムの一部として、スマートフォンの地図情報を用いて、LF/HF (Low Frequency/High Frequency) 値 [2][3] を取得した地点に棒グラフ表示するツールを開発している [1]。LF/HF 値とは、心拍データからスペクトル解析によって得られる周波数領域から求めることができる交感神経活動度、すなわちストレス指標のうちの 1 つである。ストレス指標である LF/HF 値と場所情報、時間を関連付けることで、どのような時、場所でストレスが発生したのかが分かり、ストレスの原因を推測することができる。過度なストレスは身体に影響を与え、様々な病気を引き起す原因となる。ストレスの原因を理解することで、ストレスを軽減することができ、快適な生活を送る手助けとなる。

このツールには、情報をサーバに保存して後から確認することができる機能が備わっている。これを他利用者とも共有できれば、事前にストレスのかかる場所を把握でき、避けることができる。そこで本論文では、対象を多数利用者に拡大し、何らかの制限を与えた時空間において、その時空間にいる多くの人間のストレスレベルを集約分析することで、時空間ストレス指標を得ることを提案する。人間にとって快適な環境とはその環境下でどれくらいの割合で人がストレスを感じないかという指標で与えられるべきである。また、その環境とは、同じ場所でも時間帯、季節などの時間によって変動するものである。この時空間ストレス指標を用いることで、時間、場所を考慮した新しい環境評価が可能となる。

2 章では、提案する時空間ストレス指標について説明する。3 章で提案した指標のためのシステム構築について述べる。4 章では、動作例を用いて考察する。

2. 時空間ストレス指標の提案

人間にとって快適な環境とは、その環境下でどれくらいの割合で他の人間がストレスを感じないかという指標で与えられるべきである。この環境とは時空間に渡るものであり、同じ場所でも時間帯や季節によって変動する。本論文ではある時空間にいる多くの人間のストレスレベルとして使われている LF/HF 値を集約分析することで、時空間ストレス指標を得ることを提案する。

2.1 LF/HF を用いたストレス指標

LF/HF 値とは、自律神経機能の評価として用いられて

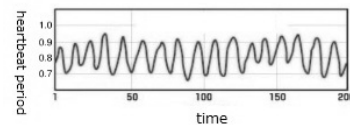


図 2 心拍変動時系列データ

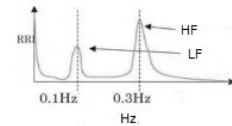


図 3 周波数解析

いる値である [2][3]。図 1 は心拍データである。各心拍には P, Q, R, S, T という様々な波形が含まれている。RR 間隔とは、その中で最も大きなピーク波である R 波の間隔である。RR 間隔は心拍と同義であり、常に一定ではなく変動していることが知られている。図 2 は心拍変動時系列データである。横軸が時間、縦軸が RR 間隔である。図 3 は心拍変動時系列データを周波数解析したものである。このパワースペクトルでは、周波数の低い LF 成分と周波数の高い HF 成分が観測される。LF 成分は血圧調整の機能と関連しており、交感神経と副交感神経の両方の影響を受けている。HF 成分は呼吸変動と関連しており、副交感神経の影響を受けている。よって LF と HF の比をとることで、交感神経活動度の指標を求めることができる。

2.2 時空間ストレス指標とそのバリエーション

先に述べたように、我々は LF/HF とスマートフォンを用いて、Google マップの自分の移動経路上に LF/HF 値を棒グラフで表示させ、利用者の移動経路とストレス値の関係を直観的に把握できるツールを開発している [1]。このツールは我々が開発している SHN システムの一部であるが、当初クラウド上の知識ベースを利用するのではなく、利用者のみへのローカル情報提供を想定していた。しかしながら、SHN システムの多数の利用者の LF/HF、位置情報、時間情報を集約することで、時間ならびに空間のフィルタを通した LF/HF 集合情報、すなわち時空間ストレス指標を得るという着想を得るに至った。例えば多数の SHN システム利用者のいる市街地で交通事故が発生した場合、その時刻の事故現場付近の利用者の LF/HF 値は一斉に上昇するであろう。あるいは通学路を行き来する車の運転者の LF/HF 値は、児童の登下校時には一斉に上昇するであろう。

このように、時空間ストレス指標は LF/HF 値、時間、位置情報から求められる。時間の制約事項として、長時間、短時間、特定の時間帯があげられる。本論文では、短時間を 24 時間以内、長期間を 24 時間以上のとする。もちろん実際の利用では、週単位、月単位、季節単位、年単位

等，自由に制約事項を変えることができ，それぞれ異なるストレスの原因を解明するのに役立てることができる．一般に短時間では，その時間内に瞬発的に LF/HF に影響を与える事象に対しての指標となる．長時間では，長期的に LF/HF に影響を与える事象に対しての指標となる．特定の時間帯とは，通勤時間など複数の人間が同作業をしている可能性が高い時間帯とする．時間単独で指標として利用する場合，場所に関係なく，その時間におけるストレス指標を求めることができる．ストレスは日常的に受けるものであり，時系列でストレスを表せることができる．また，時間帯や時期によってストレスは変化する．時間における多数の人間のストレス状態を分析することで，これらの指標を得ることができる．

場所の制約事項として，局所，広範，特定の場所があげられる．局所的な範囲では，その場所限定で LF/HF に影響を与える事象に対しての指標となる．広範囲では，局所的な範囲で起きた単独もしくは複数の事象がどれくらいの範囲に及んでいるかを示す指標となる．特定の範囲とは，公園や道路など離散的に存在する共通した場所のこととする．公園や道路などの特定の場所では，離れた場所でも共通したストレス指標を示すことが考えられる．例えば，道路では騒音や渋滞など特定の事象がストレスの発生原因となりうる．

時間と場所の組み合わせによって，時空間ストレス指標として利用可能なものは，以下の通りである．長時間で局所的な範囲での時空間ストレス指標としては，その場所そのものが原因となる事象が関連している．例えば，常に騒音のひどい場所や閑静な場所など，その場所そのものが LF/HF に影響を与える可能性がある．短時間で局所的な範囲や特定の場所で感じるストレスとして，突発的な事件，事故などがあげられる．これから行く予定の場所に対して，高いストレスを示す場合，予定を見直すことでストレスを回避することができる．特定の時間帯で局所的な範囲では，通勤時間など多くの人間が同じ行動をしている時間帯において，その場所が人間にとってどのような環境なのかを評価できる．例えば，通勤時間でのその場所におけるストレス指標の評価がそこを通勤路とする人間にとっての通勤快適度となる．長時間で広範囲におけるストレスとして，季節や天気などによる気温，気圧の変化によるストレスがあげられる．季節や天気は広範囲にわたるものであり，季節は 2 ヶ月以上，天気は通常ゆるやかに変化するものであり，1 日以上以上の期間を経て変化する．短時間で広範囲におけるストレス指標では，発生直後に LF/HF 値に影響を与える事象を発見する際に利用できる．事象の例として，地震やゲリラ豪雨などがあげられる．特定の時間帯での広範囲におけるストレス指標では，定刻に多くの人に告知される事象でストレスを増減させるものを検出できる．例えば広い工場における昼休みを知らせるチャイム音や，

TV ラジオの時刻音などがある．長時間における特定の場所でのストレス指標では，時間によって特定の場所がどのような環境になるか評価できる．例えば，道路上での通勤時間帯など渋滞時のストレス指標と空いている時間帯でのストレス指標を比べることで，時間によって特定の場所がユーザにとってどのような環境であるか評価できる．特定の時間帯で特定の場所でのストレス指標では，複数の人間が同じ時間帯で同じ作業をしている時に有効である．例えば，勤務時間内の職場や通勤時間中の電車内などの環境評価に適している．

上記で定義される範囲における時空間ストレス指標を求める際，クラウドに送信された全ての利用者の LF/HF 値を利用するため，人数把握が容易であり，単位面積や単位時間あたりの人数の密度によるストレス指標も算出可能である．また，ストレス指標の算出方法としては，平均値，中央値，最頻値などの代表値を用いることができる．平均による指標の場合，全体像を客観的に把握することができる．ただし，データ数が少ない場合，少数の異常な LF/HF 値がストレス指標に大きな影響を与える可能性がある．ゆえにデータ数が少ない場合，平均値よりも中央値を用いるべきである．また，最頻値をストレス指標として用いる場合，より多くのユーザの実感に近いストレス指標が得られる．年齢や性別などで使用する LF/HF 値を選択する場合，そのユーザにとって同年齢・同性のデータを用いることができ，より正確な指標を求めることが可能となる．また，LF/HF 値は運動によっても変動するので，動作しているユーザの LF/HF 値を使用する，動作していないユーザの LF/HF 値を使用するなどの行動で時空間ストレス指標の算出に使用する LF/HF 値を限定させることができるようにすべきである．

3. ストレス指標時系列表示ツールの試作

本章では，前章で提案した時空間ストレス指標を視覚的に表示するシステムの要件仕様，実装について述べる．

3.1 ストレスレベルの表示

SHN システムの一部として，我々は，スマートフォンなどの携帯端末を用いて，ストレスを数値化する手段の 1 つである LF/HF をその時のユーザの現在地に棒グラフ表示するアンドロイドアプリケーションを開発している [1]．このアプリケーションでは，以下の機能を持つ：(1) LF/HF 値をテキストで 10 秒ごとに表示，(2) 60 秒間隔で LF/HF 値の棒グラフをマップ上の現在地に表示，(3) 速度，距離，標高，進行方向などの運動情報の表示，(4) 画面の移動，(5) 地図の表示拡大，(6) 地図を拡大した場合の棒グラフからラベルへの切替，(7) 現在地の習得，(8) LF/HF 値の表示・非表示，(9) 機能 9 LF/HF 表示の削除．

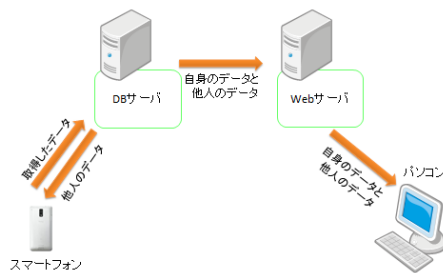


図 4 システム概念図

3.2 他利用者との時空間ストレスレベルの共有

時空間ストレス指標を得るために、本システムでは、自分の LF/HF をリアルタイムで表示するだけでなく、現在地付近の他利用者の LF/HF を、指定した過去までさかのぼって表示させることができる。

図 4 はシステムの概念図である。スマートフォンから LF/HF 値、その時の時間、場所とどれくらい過去のデータを表示するかという情報を DB サーバに送る。DB には、全利用者の LF/HF 値、その時の時間と場所情報が格納されている。DB サーバはスマートフォンから送られてきた情報をもとに、条件に該当する他利用者の LF/HF 値を探索し、該当した他利用者の LF/HF 値、場所情報とその時の時間帯をスマートフォンに送る。また、Web サーバには、他利用者と自身のデータの LF/HF 値、場所情報とその時の時間帯を送る。スマートフォンは DB サーバから送られてきた他利用者の LF/HF 値を表示する。Web サーバでは、送られてきたデータを Web ブラウザを開いているパソコンに送信する。パソコンでは、送られてきた自身の LF/HF 値と他人の LF/HF 値を表示する。また、その時間、場所にどれくらいの人間があり、LF/HF 値がどのような傾向になっているか視覚的に容易に判断可能とするために、本システムでは LF/HF 値を平均などの処理をせずに全てのデータを表示させる。

以上の機能を実現するための仕様は以下の通りである。

仕様 1 時間選択できるラジオボタンの設置

仕様 2 スマートフォンから得られた情報を DB サーバに送信

仕様 3 DB にスマートフォンから得られた情報を追加

仕様 4 DB から条件に合うものを検索

仕様 5 DB から得られた情報を送る

仕様 6 送られた情報を表示する。

仕様 1 では、アプリケーション側でユーザが過去どれくらいまでのデータを表示するか選択できるようにラジオボタンを設置する。本システムでは、5 分、1 時間、1 日の選択肢を設ける。5 分のボタンを選択すると、現時間から 15 分間の過去のデータを取得し、1 時間のボタンを選択すると、現時間から 3 時間分の過去のデータを取得し、1 日のボタンを選択すると、現時間から 3 日分の過去のデータ

を取得させる。

仕様 2 では、ユーザが選択したボタンの情報、スマートフォンの GPS 機能で取得した場所情報、心拍データから算出した LF/HF 値とその時の時間を DB サーバに送る。これらの情報は、表示する他利用者のデータを選択するための条件として利用される。

仕様 3 では、スマートフォンから送られた情報を別のユーザがストレス指標として活用できるように、ユーザ ID をつけて DB に追加する。

仕様 4 では、送られた情報を基に DB からそのユーザ自身のデータ以外のものを検索する。

仕様 5 では、DB から得た場所情報、LF/HF 値をスマートフォンと Web サーバに送る。

仕様 6 では、DB サーバから送られた情報を表示する。その際、時系列を考慮できるように仕様 1 で選択した時間帯を 3 段階に分けて、現在時間から古いものほど色を薄く表示させる。

本システムの流れは、次の通りである。必要な過去の時間幅を利用者は選択し、スマートフォンで得られた場所情報と算出した LF/HF 値を DB サーバに送信する。DB サーバは送信されたデータを基に DB から条件に合うものをスマートフォンに返す。また、DB にスマートフォンから送られてきたユーザ情報、LF/HF 値、場所情報を追加する。スマートフォン側は DB サーバから送り返されたデータを表示する。その際、データは時系列を考慮できるように 3 段階に表示方法を分ける。具体的には、時間が古いほど、表示グラフの色を薄くする。現在のスマートフォンの画面は解像度が悪く、表示される地図の範囲が限られ見にくいときもある。よって、スマートフォンだけでなく、パソコンでも閲覧可能にするように、アンドロイド対象のアプリケーションとは別に Web 上で閲覧可能ようにする。スマートフォンから DB サーバにデータが送られ、DB サーバからスマートフォンにデータを送り返す際、Web サーバにもその結果を反映させる。またパソコンで閲覧する Web ページでは、Google マップではなく、より立体的に見え、視覚的にわかりやすい Google earth とし、グラフは 3D グラフを用いる。

4. 動作例と考察

本章では、前章で述べたシステムの動作例について説明する。本システムでは、DB から検索された他利用者の LF/HF 値を平均などの数値処理をせずに全てのデータを表示させる。全てのデータを表示させることで、その時間、場所にどれくらいの人間が存在しているか分かる。

図 5 はアプリケーションを起動してから 60 秒後の画面である。画面左上には過去どれくらいを表示するか選択できるラジオボタンがある。ピンク色のグラフが自身の LF/HF 値である。緑色のグラフが他利用者の LF/HF



図 5 アプリケーション起動後 60 秒後



図 8 地図の移動



図 6 情報の更新



図 9 選択ボタンの切り替え



図 7 地図の拡大縮小



値である．他利用者の LF/HF 値は時間によって 3 段階の色に分けられており，過去のものほど薄いグラフで表示されている．図 5 では，5 分が選択されている．

図 6 は情報を更新した時の画面である．左図では濃く表示されていたものが，右図では薄くなっている．表示する他利用者のデータを時間によって 3 段階に分けており，濃いグラフが現在から過去 5 分以内のもの，2 番目に濃いグラフが過去 5 分から 10 分前のもの，1 番薄いものが 10 分から 15 分前のものである．これにより，時系列を把握できる．

図 7 は地図を拡大縮小させたときの画面の変化を示す．左図を拡大させたものが右図である．これで場所を広範囲に見たい場合は地図を縮小し，局所的に見たい場合は地図を拡大することができる．

図 8 は地図の移動を示す．スマートフォンの画面を指でなぞると，それにしたがって，地図も移動する．左図は操

作前，右図は操作後である．これで，任意の場所を中心にすることができる．

図 9 はどれくらい過去のデータを表示するか選択するラジオボタンを 5 分から 1 時間にかえた画面である．左図では，過去 15 分の他利用者のデータが表示されているが，右図では，過去 3 時間分の他利用者のデータが表示されている．表示時間単位を変化させることで，時間に関するストレス指標を見出すことができる．例えば，長時間における局所的な場所のストレス指標を確認したい場合，3 日分の過去のデータを表示するようにし，地図の拡大縮小により，自身がいる現在地を局所的に表示する．3 日分のデータを見ることで，その場所でのストレス指標が分かる．表示されているデータは時間によって 3 段階に分けて表示されているので，現在から 24 時間前までのストレスの状態，24 時間前から 48 時間前までのストレスの状態，48 時間前から 72 時間前のストレスの状態がわかる．この 3 つの時間帯がほぼ同じ LF/HF 値をとっていれば，その場所そのもののストレス値であるといえる．もし，ある時間帯だけが他の時間帯と違っていれば，その時間帯に何か特別なことが起こったといえる．もし，現在から 24 時間までの時間帯に異常なストレス指標を出していれば，3 時間以内のデータや 15 分以内のデータを表示させることで，自身に影響を及ぼす可能性のあるものか判断でき，その場所を避けることも可能である．

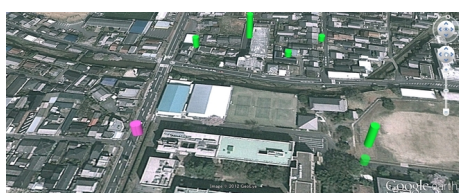
図 10 は Web ページを開いたパソコン画面である．アプリケーション画面の図 5 と同じデータが表示されている．スマートフォンに比べ，画面が大きい．そのため，広



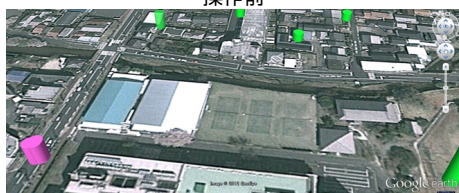
図 10 パソコン画面



図 11 情報の更新



操作前



操作後

図 12 パソコンでの地図の拡大縮小

範囲におけるストレス指標が見やすくなる。また、Web ブラウザでは、Google earth 上に 3D グラフで表示され、立体的に見え、時空間ストレス指標をより視覚的に分かりやすく確認できる。

図 11 はスマートフォン側で表示が変わったときの様子である。スマートフォン側で 1 分おきに LF/HF 値が算出され、表示画面が更新される。この際、Web サーバの情報も更新されるため、パソコンの表示画面を自動更新させる。つまり、スマートフォンと同じ情報を、タイムラグなく、パソコンを用いて閲覧することができる。スマートフォンよりもパソコンの画面が大きいので、より時空間ストレス指標を視覚的に理解しやすくなる。

スクロールをすると地図は図 12 のように拡大縮小する。ドラッグをすると地図は図 13 のように移動する。それぞれの上図は操作前、下図は操作後である。これでパソコン側でも、広範囲で確認するか、局所的な場所で確認するか選択できる。ドラッグすることで、特定の場所における指標も確認できる。以上のことから、パソコン側でも、スマートフォンと同様に時空間ストレス指標を確認することができる。また、スマートフォンで見るよりも大画面で見ることができる。さらに、Google earth 上に 3D グラフで



操作前



操作後

図 13 パソコンでの地図の移動

表示されているので、視覚的に分かりやすい。

5. まとめ

本論文では、ある時空間にいる多くの人間のストレスレベルを集約分析することで、時空間ストレス指標を得ることを提案した。人間にとって快適な環境とはその環境下でどれくらいの割合で人間がストレスを感じないかという指標で与えられるべきである。この環境とは時空間に渡るものであり、同じ場所でも時間帯や季節によって変動する。時間を長時間、短時間、特定の時間、場所を広範囲、局所、特定の場所と分類し、これらを組み合わせ、考えられる時空間ストレス指標を提案した。またこれらのモデル化を行った。時空間ストレス指標を直観的に確認するために、アンドロイドアプリケーションならびに Web アプリを試作した。これにより、リアルタイムで時空間ストレスを確認でき、ストレスの高い場所があれば、避けることも可能である。

今後の課題として、実証実験の実施があげられる。学内において、数十人を対象として行い、本論文で提案した時空間ストレス指標が有効であるか検証する。

参考文献

- [1] Uchimura, M., Eguchi, Y., Kawasaki, M., Yoshii, N., Umeda, Tomohiro., Takata, M., and Joe, K.: Real Time Spatiotemporal Biological Stress Level Checking, *Proceedings of The 2012 International Conference on Parallel and Distributed Processing Technologies and Applications*, Vol. 2, pp.744-750 (2012).
- [2] Pomeranz, B., Macaulay, R.J., Caudill, M.A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D., Kilborn, K.M., Barger, A.C., Shannon, D.C., Cohen, R.J., and al. et: Assessment of autonomic function in human by rate spectral analysis, *American Journal of Phtsiology*, Vol. 17, pp. 151-153 (1985).
- [3] 高田 晴子, 高田 幹夫, 金山 愛: 心拍変動周波数解析の LF 成分・HF 成分と心拍変動係数の意義: 加速度脈波測定システムによる自律神経機能評価総合健診, Vol. 32, No. 6, pp. 504-512 (2005).