

加速度計とGPSを組み合わせた活動強度の 時間空間パターン評価手法

東京大学大学院 梅 崎 昌 裕
(共同研究者) 同 李 廷 秀
共立女子大学 川久保 清
国立歴史民俗博物館 蔣 宏 偉

Evaluation of Temporal- and Spatial-Patterns of Physical Activity: An Application of Accelerometer and Global Positioning System

by

Masahiro Umezaki, Jung Su Lee

University of Tokyo

Kiyoshi Kawakubo

Kyoritu Women's University

Hongwei Jiang

National Museum of Japanese History

ABSTRACT

Construction of physical activity friendly residential areas is the urgent task for prevention of future increase of cardiovascular diseases in urban areas. Recent development of global positioning system and portable accelerometer technologies can contribute to this field by providing the baseline evidences of urban dweller's temporal- and spatial-patterns of physical activity. In the present study, we developed the analytical package (programs written by C++ and SAS languages) for this purpose and applied to analyze the physical activity patterns of 28 volunteers who resided in a municipality of Metropolitan Tokyo. A land use map on geographic information system (ArcGIS, ESRI Inc.) was used for the analysis of physical activity patterns by seven land use categories.

The results of the analysis showed that, among the participants, the average physical activity index (an index produced by accelerometer) was higher when they were in “park” than in “street”, “shopping area”, or “residential area”. Interestingly, total of physical activity index (an indicator of total amount of physical activity) of the participants was higher in “street” than in either of the other land use categories. It was suggested that not only the allocation of parks to residential areas but also the maintenance of walkable streets are the fundamental for physical activity friendly urban planning.

要 旨

本研究では、日常生活をおくる個人を対象に、さまざまな土地利用区分ごとの身体活動レベルを明らかにするための方法論を検討した。まず、Garmin社製の腕時計型GPSで収集する位置情報と、SUZUKEN社の加速時計で収集する身体活動レベルの情報を、それぞれの情報が記録された時刻によって統合する一連のプログラムパッケージを開発した。さらに、統合されたデータベースを地理情報システムで管理される土地利用データと重ね合わせることにより、土地利用区分ごとの身体活動レベルの特徴を明らかにする方法論を検討した。A区健康増進事業の参加者28名の協力によって実施した検討では、身体活動レベルの平均は、「公園・運動場」が、「道路」、「商業用地」よりも高い傾向にあった。一方、身体活動レベルの総量は、「道路」が他の土地利用区分よりも高かった。これらの結果より、身体活動のしやすい都市づくりのためには、居住地に公園を配置するだけでなく、歩きやすい道路の整備が重要であることが示唆された。今後は、GPS測位の誤差が分析におよぼす影響への対処など、方法の実用化にむけてのさらなる取り組みが必要である。

緒 言

人間の身体活動パターンは、都市の空間・機能環境によって影響されることが知られている。歩き
デサントスポーツ科学 Vol. 31

やすく安全な歩道が整備されている町、魅力的な商店街が軒を連ねる町などに居住する人々と、歩きにくく危険な町、殺伐とした雰囲気のある町に居住する人々とを比較すれば、前者のほうが屋外で体を動かす機会と時間が長くなる可能性が高い¹⁾。都市計画と健康科学の知見を統合的に生かした「健康都市」の建設は21世紀に生きる人類が目指すひとつの目標である。そのためには、「人間」がどのような空間におかれた場合にどのくらいの身体活動を行う傾向にあるのかという基礎データの蓄積が必要である²⁾。

GPS（汎地球測位システム）は、地球を周回するGPS衛星との交信によって地球上の任意の場所の位置情報（緯度、経度、標高）を取得するシステムである。近年、WAASなどの補正情報を発信する衛星が利用できるようになり、一般的なGPS機器を用いた単独測位でも15メートル以内の精度で位置情報を取得することが可能になった。また、装置の小型化、メモリーの高性能化、バッテリー駆動時間の延長により、測量・地図作成以外の分野への展開が検討されている。

健康科学の分野では、小型GPSを用いて個人の移動経路を経時的に記録することで、活動の空間パターンを分析する試みに注目が集まっている。いくつかのGPS機器は、位置情報を指定した時間間隔で取得し、自動的に内蔵メモリーに記録する機能を有している。その機能を利用することによって、ある個人の空間活動パターンを起床から就

寝まで追跡することが可能であり、その情報を土地利用図と関連付けて分析することにより、労働時間、在宅時間、公園で過ごす時間、道路を歩く時間など、個人の健康にかかわる生活時間の推定を行うことができる。また、時間と位置情報から加速度を計算することによって、個人のエネルギー消費量を推定することも原理的には可能である。

一方、加速度計は垂直方向の加速度を記録することによって個人の身体活動強度指標を収集する装置である。指定した時間幅における身体活動強度指標の最頻値を内蔵メモリーに連続して記録することができるために、1日の身体活動の総量に加えて、1日のなかでの身体活動のタイミングについての情報を収集することができる。

GPSによって収集された位置・時間の情報と、加速度計によって収集された身体活動レベル・時間の情報は、時間を介して統合することが可能である。それが実現すると、個人が起床してから就寝するまでに、いつ、どこに存在し、そこでどのくらいの身体活動をしたか、すなわちどのような空間におかれた場合にどのくらいの身体活動を行う傾向にあるのかについての基礎データを蓄積することができる。

本研究は、小型GPSと加速度計のデータを統合的に分析するシステムを開発することによって、人間がどのような空間におかれた場合にどのくらいの身体活動を行う傾向にあるのかという基礎データを蓄積することを目的とする。

1. 研究方法

東京都のA区で実施されている健康増進事業の参加者28名より調査への協力がえられた。具体的には、日常的な生活をおくる休日と平日のそれぞれ1日ずつに、起床時から就寝まで小型GPSを装着してもらった。本研究で使用した小型GPSは、Garmin社製のForetrex 101である。この機器は、本来はトレッキングにおける使用を想定して

販売されているので、小型・防水・堅牢であり、腕時計のように手首に装着することができる。装着することによる身体活動への影響は最小限である。単4乾電池2本で10~15時間連続して稼働する。また、5秒ごとの位置情報を24時間にわたって連続的に記録することのできるメモリーを内蔵している。本研究では位置情報を補正するためWAASを利用した測位モードを選択し、15メートル以内の測位精度でデータを収集することを想定した。

調査の参加者には、起床と同時に小型GPSの電源を入れ、それを手首、あるいはハンドバッグなどいつも持ち歩くものの外側に装着し、その状態を就寝まで維持するように依頼した。電池が完全に消耗すると自動的に電源が切れ、電源を入れてから電池がなくなるまでに収集されたデータファイルが記録される。小型GPSは、30秒に1回ずつ位置情報を記録するように設定した。

さらに、調査の参加者は、健康増進事業の一環として、連続した2週間にわたって加速度計を装着し、日常的な身体活動量の自己評価をおこなった。使用した加速度計は、SUZUKEN社製のライフコーダEXで、腰の部分に装着することで垂直方向の加速度を感知し、2分ごとの身体活動強度指標（加速度から推定した指標）の最頻値を数か月にわたって内蔵するメモリーに記録することができる。ライフコーダEXの記録する身体活動強度指標は、自転車やウェイトトレーニングなど一部の活動を除き、単位時間当たりのエネルギー消費量あるいはMETSと相関することが知られている。

小型GPSによる日常的な位置情報経路の収集と、加速度計による日常的な身体活動強度指標の収集は、2007年1月、2008年1月、2009年1月に行われた。本論文では、このうち2007年に収集したデータの分析結果を報告する。

小型GPSに記録されたファイルには、WGS84（世界測地系）による位置情報（緯度，経度，標高），時刻，速度などのデータが含まれる。一方，加速度計が収集したファイルには，2分間ごとの身体活動強度指標（0～9）の最頻値，時刻（加速度計強度を記録した2分間の始めと終わり）が記録されている。

加速度計が出力するデータと小型GPSが出力するデータを統合可能なフォーマットに変換するためのプログラムはC++言語を用いて作成した。また，加速度計のデータと小型GPSのデータを統合するためのプログラムはSAS言語（SAS Institute）を用いて作成した。このSAS言語によって作成されたプログラムは，GPSが位置情報を取得した時刻（30秒間隔）を基準に，それを包含する時間帯（2分）に取得された加速度計のデータを統合する機能（たとえば，GPSの位置情報が15:00に取得された場合は，その時刻を包含する2分間に取得された加速度計データを検索して統合する），GPSシステムで使用されるグリニッジ標準時を加速度計が使用する日本標準時に変換する機能，GPSが連続して取得した2ポイントの距離が一定以上であった場合にはその両方を削除する機能（GPSシステムは受信状態によっては，予期されない誤差を含むデータを記録するため）を備えている。これらのプログラムを実際のデータに適用し，時刻，位置情報，身体活動レベルの3変数を含むデータベースを構築した。

地理情報システムを用いて，A区の土地利用についてのGIS地図を作製した。土地利用図はESRI社のGISソフトであるArcGISを用いて作成した。以下の7つの土地利用区分を採用した：(1) 学校・官公庁・病院など，(2) 商業施設，(3) 住宅地，(4) 工業用地，(5) 公園・運動場，(6) 道路，(7) 屋外利用地・鉄道・港湾。

時刻，位置情報，身体活動強度指標の3変数を含むデータベースは，シェープファイルフォーマ

ットのポイントに変換し，ArcGISで管理する土地利用図にオーバーレイした。本論文では，ArcGISのアルゴリズムを利用して計算された土地利用区分ごとの滞在時間，身体活動パターンを報告する。

2. 研究結果

加速度計・小型GPSの記録するデータファイルを変換するC++プログラム及び，両者の時間変数を使って統合するSASプログラムの作成過程において，以下の問題が明らかになった。もっとも重要なのは，GPSデータに含まれる大きな測位誤差をどのように制御するかという問題である。今回分析したデータは都市部で収集されたこともあり測位誤差が多くみられた。測位誤差の大きな原因は，GPS受信機とGPS衛星との間に建物など障害物が存在することによって受信が妨げられること，またGPS衛星からの信号が建物の壁やガラスに反射されることにより，GPS受信機がGPS衛星の位置を正しく把握できないことである。また，地下鉄など受信機がGPS衛星の信号を受信できないような状況がおおいこともGPSシステムの測位を制限する要因であった。このようなGPSの測定誤差をコントロールするひとつの方法として，本研究ではふたつの連続するGPS測位が，設定した距離以上離れている場合は，その両方を削除することのできるフィルタリング機能をプログラムに組み込んだ。このフィルタリング機能の最もゆるやかな適用の例は，都市空間においてたとえば時速300キロメートルを超えるスピードで移動することはないという前提において，30秒間隔で連続して測位された2つのポイントが2.5キロメートル以上離れている場合，両方を分析対象から削除するというフィルタリングである。一方，自転車による移動スピードが通常，時速20キロメートル以下であるとする経験的データに基づいて，30秒間隔で連続して測位された2つ

のポイントで160メートル以上離れているものをフィルタリング機能によって削除すれば、身体活動をとまなう移動（自転車または徒歩）のみを対象にした分析をおこなうことも可能となる。

そのほか、現実的な問題として、時刻、位置情報にかかわるフォーマットをあらかじめ統一しておくこと（位置情報を例にとれば、度十進法、度分十進法、度分秒法のいずれかに統一するなど）が重要であることが明らかになった。一連のプログラムパッケージは、将来的に多くの研究者が利用できるようにマニュアルとともに一般公開する予定である。

図1は、本研究の参加者が平日の1日と休日の1日に装着した小型GPSが記録した全ての位置情報を、A区の土地利用図と重ね合わせた結果を示している。土地利用区分は（1）学校・官公庁・

病院など、（2）商業施設、（3）住宅地、（4）工業用地、（5）公園・運動場、（6）道路、（7）屋外利用地・鉄道・港湾の7つとした。

土地利用区分ごとに収集されたGPS位置情報の数を集計したものが図2である。記録された数が最も多かったのは、「道路」、続いて「住宅用地」、「工業用地」となっていた。この結果の解釈にあたっては、GPSの測位が、対象とした28人の起床から就寝までのすべての行動を代表しているわけではないことに注意する必要がある。GPSによる測位は、室内、地下、電車やバスの中などでは不可能か、十分な精度が確保できない。したがって、A区の自宅から地下鉄で遠方の職場に通勤しているような個人では、自宅と地下鉄駅の往復の行程だけがGPS衛星によって測位されることになる。したがって、このデータは本研究の参加者

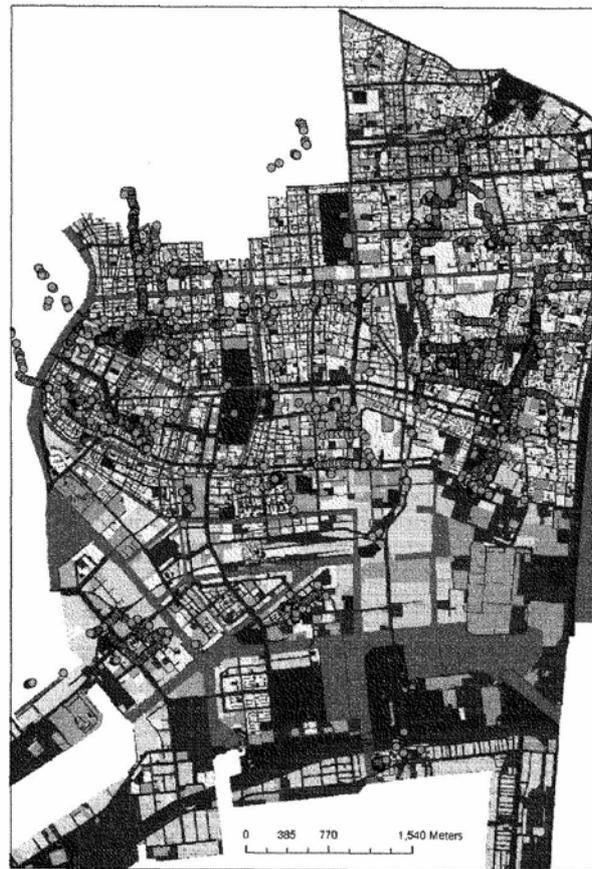


図1 小型GPSで記録された個人の空間的活動パターン。主題図の色は以下の土地利用区分を表している【水色：学校・官公庁・病院など、ピンク：商業施設、黄色：住宅地、灰色：工業用地、赤：公園・運動場、紫：道路、青：屋外利用地・鉄道・港湾】出典：A区土地利用図

が屋外で過ごした時間を、土地利用区分別に検討したものと解釈する必要がある。

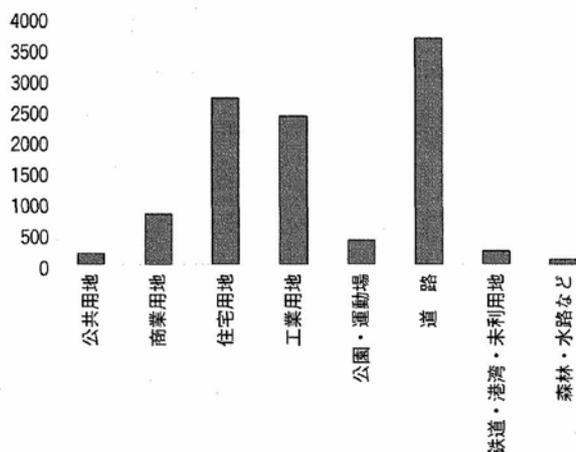


図2 土地利用区分ごとの位置情報記録数

図3は、それぞれの土地利用区分ごとに記録された、参加者の身体活動強度指標の平均と標準偏差である。身体活動指標の平均値は、「公園・運動場」で記録されたものが最も高く、続いて「商業用地」、「道路」で記録されたものが高かった。この図から判断する限り、調査への参加者は「公園・運動場」において、「商業用地」あるいは「道路」に比較して、より高い強度の身体活動をおこなう傾向にあることが示唆された。

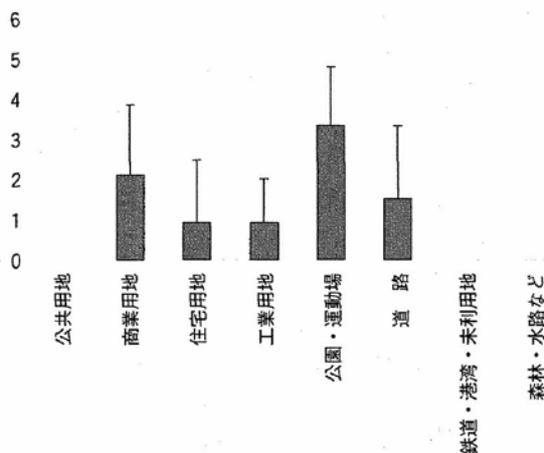


図3 対象者が屋外にいるときの、土地利用区分ごとの身体活動の強度 (平均値と標準偏差)

図4は、土地利用区分ごとに記録された身体活動強度指標を合計したものである。本研究の参加者が全体としてA区の中かのどの土地利用区分においてどのくらいの身体活動をおこなったかを評

価するための手がかりとして解釈することが可能である。もっとも身体活動強度指標の合計が多かったのは「道路」であり、「公園・運動場」に比較するとその値は3倍以上であった。「住宅地」、「商業用地」における身体活動強度の合計は、「道路」における値よりも少ないものの、「公園・運動場」における値よりは高かった。この結果は、身体活動をしやすい空間づくりのためには、日常的な移動のための空間である「道路」、そして日常的に生活する空間である「住宅地」および「商業用地」のありかたが重要であることを示唆している。

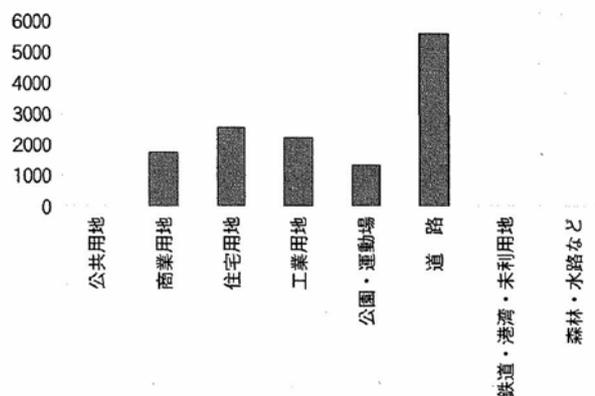


図4 土地利用区分ごとの身体活動強度 (加速度計の指標) の合計

3. 考察

本研究では、個人の位置情報と身体活動強度を統合的に分析するプログラムを開発し、都市居住者の日常生活における行動パターンを時間、位置、身体活動レベルの3つの側面から関連づけて分析した。その結果、都市住民は、「公園・運動場」にいるときに高い強度の身体活動を行うこと、身体活動の総量は「道路」において最も大きいことが示唆された。

この結果は、都市住民が意識的に体を動かす場所としての「公園と運動場」の重要性と、意識しない身体活動の場としての「道路」の重要性を示すものである。より歩きやすい道路、より歩きた

くなる道路の整備が、都市住民の身体活動を容易にし、より健康な都市の実現に結びつく可能性がある。

ただし、研究の過程でいくつかの方法論的問題点も明らかになった。ひとつは、GPSの収集する位置情報の精度に由来するものである。本研究ではWAAS補正情報を用いることで、15メートル以内の誤差で位置情報を収集することを想定した。この誤差は、カーナビゲーションなど日常的なGPS利用の場面では十分に小さい。しかしながら、本研究のように土地利用図と重ね合わせて分析する場合には、ある土地利用区分で取得された位置情報が、隣接する土地利用区分で取得されたものとして誤分類される可能性がある。

しかも、都市環境においては、GPS衛星からの電波がビルなどの建造物に反射することで大きな測定誤差をうみだすこと、天井が遮蔽された地下道などではGPS信号を受信できないことが知られており、そのことによる分析誤差の拡大も大きな問題である。

このような解決すべき問題があるにしても、個人の行動パターンを時間、位置、身体活動レベルの3つの側面から関連づけて分析することが可能になったことは、本研究で目的とした健康的な都市計画のための基礎データ収集にとどまらず、さまざまな分野での新しい展開を可能とする。そのなかには、個人の時間的・空間的活動パターンとのかかわりが強い感染症のリスク評価を個人ベースで行うこと、農薬などの化学物質への曝露量を個人ベースで評価することなど、健康科学の広範な課題が含まれるだろう。

本研究で検討した方法が可能になった背景には、

GPS機器の小型化・高性能化・低価格化、バッテリーの性能向上、メモリーの高性能化・低価格化など、工学的な技術の発展が大きく貢献している。これまで重要にもかかわらず技術的に不可能であった研究分野を、工学技術の応用によって切り開く事例を示したことに、本研究の本質的な意味があると考えている。

4. まとめ

小型GPSの取得する位置データと、加速度計の取得する身体活動レベルのデータを時刻によって統合するプログラムを作成した。A区に居住する都市住民を対象にした検討では、身体を積極的に動かす空間としての「公園・運動場」と、日常生活の中で意識せずに身体を動かす「道路」が、身体活動をしやすい都市計画において重要であることが示唆された。今後は、本研究で開発されたGPSと加速度計の統合パッケージを用いて、世界のさまざまな都市環境における人間の身体活動の理解につながるような研究につなげていく予定である。

文 献

- 1) 李廷秀, 浅見泰司, 片岡裕介, 川久保清, 森克美, 梅崎昌裕, 山内太郎, 高木廣文, 下光輝一, 井上茂, 春名由一郎, 砂川博史 (2005) 居住地域の環境が日常身体活動に及ぼす影響に関する調査研究. 2005年度CSIS共同研究報告書 (東京大学空間情報科学研究センター)
- 2) Rodriguez, D. A., Brown, A. L., and Troped, P.J. Portable global positioning units to complement accelerometry-based physical activity monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37: S572-S581 (2005)