

斜面を考慮した瀬戸市における歩行マップ

2008MI151 村林正隆

指導教員：腰塚武志

1 はじめに

瀬戸市は斜面が多いため、歩行や自転車等の移動が困難な場合がある。そのため、距離のみを考慮した経路と斜面と距離を考慮した経路では、異なる結果となる可能性がある。今まで歩行や自転車に関する研究において、個人差や環境によって速度や消費エネルギーが大きく異なるため、移動そのものを定量的に扱ったものは少ない。

そこで本研究では、斜面を考慮した瀬戸市における歩行マップの作成、解析を目的とする。歩行マップの作成には、C言語プログラム、及び ArcGIS を使用した。まず、数値地図 25000 分の 1 より道路データの抽出を行う。次に、数値標高モデル 5m メッシュ(標高)より標高値を抽出し、重み付き平均による補間を行い、道路の交差点に標高値を持つ道路ネットワークを作成する。また、既存研究 [1] より代謝的換算距離を引用し、各道路区間に斜面による負荷を与える。そして、任意の地点から Dijkstra 法を用いて道路の各交差点までの距離を算出する。最後に、距離に応じて色分けを行った瀬戸市の歩行マップを作成し、斜面を考慮した場合と考慮しない場合で解析を行う。

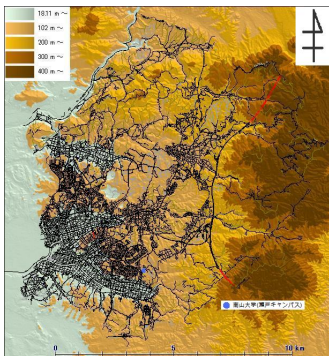


図 1 瀬戸市の標高図

2 重み付き平均による標高値の補間

道路データの各交差点に標高値を持たせるため、数値標高モデル 5m メッシュ(標高)の各標高点から重み付き平均 [2] を用い標高値の補間を行った。重み付き平均とは、 n 個の三次元のデータ $(x_1, y_1, z_1), \dots, (x_n, y_n, z_n)$ が存在するとき、任意の点 (x_p, y_p, z_p) の値を推定することを目的とする。重み付き平均の算出は、内挿に用いるデータ数を n 、各データに対する重みを w_i とすると、次式で表わすことができる。

$$z_p = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

今回、距離が近いほど重みを大きくするために、ある点 (x_i, y_i) と (x_p, y_p) との距離の逆数を w_i とする。式で表わすと以下ようになる。

$$w_i = \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2}} \quad (2)$$

瀬戸市周辺の数値標高モデル 5m メッシュ(標高)の各標高点は、経緯度の差 0.000055 ごとに与えられている。そのため、瀬戸市の道路データの各交差点ごとに経緯度の差が ± 0.000055 以内に含まれる標高点を抽出し、式 (1)、式 (2) を用い標高値の補間を行った。

3 代謝的換算距離

斜面による負荷を表現するため、既存研究 [1] から代謝的換算距離を用いた。代謝的換算距離とは、坂道歩行時に消費する代謝エネルギーを指標とした傾斜の負荷と、基準歩行速度 [4km/h] に対する年齢階層ごとの歩行速度の比の逆数を移動負荷として乗じた距離である。坂道歩行時に消費する代謝エネルギーを指標とした傾斜の負荷とは、水平歩行と坂道の代謝エネルギー比のことを示す。

消費カロリー算出基本式

$$E = (RMR + 1.2) \times BMR \times W \times T$$

E : 代謝エネルギー, RMR : エネルギー代謝率
BMR : 基礎代謝率, W : 体重, T : 時間

図 2 代謝エネルギーの算出式

表 1 代表的なエネルギー代謝率

坂道歩行 (80m/min)	RMR 値
-9 %	1.3
-5 %	1.7
0 %	3.2
5 %	3.8
10 %	5.4
15 %	7.2
20 %	9.4

代謝エネルギーとは図 2 中に示す算定式により求めることができる。歩行時の代謝エネルギー E による相対的な負荷は、図 2 中で E の算出基本式中の前半にある(エネルギー代謝率 (RMR)+1.2) の値の比率により示すことができる。式後半にある基礎代謝率 (BMR) \times W は基礎代謝量を表し、各個人の体型や筋肉量が関係する値であるため、この値を一定として扱うこととする。また、時間 T も比率で算出するため今回は考慮しない。エネルギー代謝率 (RMR) は、分速 80m 以外の坂道歩行におけるエネルギー代謝率 (RMR) が不明であるため、全年齢階層で分速 80m における水平歩行と坂道歩行のエネルギー代謝率 (RMR) を使用している(表 1)。これを補間するため、基準速度 [4km/h] を各年齢階級の速度で除した数値を距離に乘じることで距離の増加として扱っている。ここで、坂の勾配を x 、RMR の値を y とし表 1 の値を近似した式を以下に示す。

$$y = 3.113e^{4.614x} (R^2 = 0.9984) \quad (3)$$

さらに、図 2 中のエネルギー代謝率 (RMR) の値は、様々な動作時の消費エネルギーの基礎代謝に対する比率であり、実際には、詳細な移動形態や歩行速度、調査対象者

個々人の体型，年齢に大きく関わってくるものである．そのため，代謝エネルギーを算出する数式，およびエネルギー代謝率 (RMR) の値は，主に人間工学の分野で算出されている代表的なものを使用している．

3.1 代謝的換算距離による距離の加算

最初に，瀬戸市の道路データから道路区間の繋がり情報のみを抽出し，ArcGIS を用いて道路データの各道路区間に距離を持たせた．次に，瀬戸市の道路交差点のデータ，道路区間のデータを用いて各道路の距離を配列要素とする隣接行列 (1823×1823) のデータを作成した．最後に，道路の交差点の標高差，及び各道路区間の距離から代謝的換算距離を用い新たに隣接行列のデータを作成した．

3.2 異なる経路選択の例

ここで，南山大学瀬戸キャンパスから任意の地点までを対象とし，Dijkstra 法を用いた異なる最短経路を選択する例を示す．まず，斜面を考慮しない場合の最短経路を図 3 に示す．次に，代謝的換算距離 (基準速度 [4km/h]) を加算した場合の最短経路を図 4 に示す．図 3，図 4 の比較結果から，代謝的換算距離を用い斜面を考慮することにより異なる最短経路を選択することが示された．これは標高の断面図から，図 3 の経路では上り坂が多いのに比べ，図 4 の経路では上り坂が少ないことが影響していると推測できた．



図 3 斜面を考慮しない場合 図 4 代謝的換算距離を加算した場合

4 瀬戸市における歩行マップ

今回は，南山大学瀬戸キャンパスから道路の各交差点までの距離が 3km の範囲を対象とした．まず，Dijkstra 法 [4] を用いて南山大学瀬戸キャンパスから道路の各交差点までの距離を算出した．次に，500m 間隔で各交差点までの距離に合わせて色分けを行い，道路の各交差点の集合別に，集合内の最も外側の点を線で繋ぎ簡単に色分けを行った．最初に比較のため，斜面を考慮しない図を図 5 に示す．次に，基準速度である [4km/h] を対象に代謝的換算距離を加算した瀬戸市の歩行マップを図 6 に示す．最後に，年齢が 65～74 歳を対象に，歩行速度を [2.82km/h] とした場合を考察する．高齢者の歩行を考える場合，ゆるやかな坂道では高齢者にとっても，上りには抵抗があり，下りは楽となるが，勾配が-11%を下回る下り坂は，意識して速度を落として歩行しなければならず，抵抗感を感じる坂となるため，勾配が-11%を下回る下り坂は同じ勾配の上り坂と同等の負荷を与えることとする [1]．この条件を加えた上で，年齢が 65～74 歳 [2.82km/h] を対

象に代謝的換算距離を加算した瀬戸市の歩行マップを図 7 に示す．

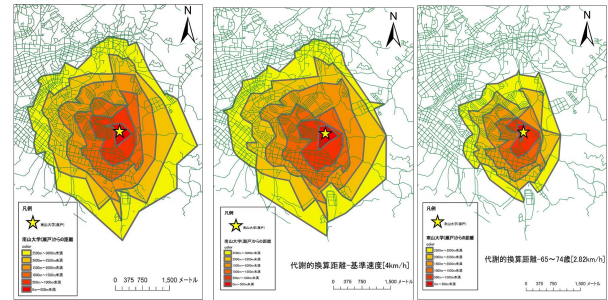


図 5 斜面を考慮しない場合 図 6 基準速度を対象とした場合 図 7 65-74 歳を対象とした場合

表 2 歩行マップの比較結果

対象	斜面を考慮しない	代謝的換算距離 (基準速度 [4km/h])	代謝的換算距離 (65～74 歳 [2.82km/h])
道路の交差点数	1172	1163	602
距離の総和	2344.694km	2328.678km	1222.113km
距離の総和の割合	1	0.993	0.521

そして，それぞれ斜面を考慮しない場合との比較を行った．まず，[4km/h] を対象に代謝的換算距離を加算した図は，南山大学瀬戸キャンパスから東側を中心に道路の交差点が減少していた．これは，勾配が急な上り坂が南山大学瀬戸キャンパスの東側に存在していることを示している．実際，南山大学瀬戸キャンパスの東側は山地になっており，南山大学瀬戸キャンパスより標高が高いため上り坂が多い地形となっている．次に，年齢が 65～74 歳 [2.82km/h] を対象に代謝的換算距離を加算した図は，距離の総和が 47.9%減少，道路の交差点数も 570 点減少しており，全体的に距離が減少しているのがわかる．これは，図 6 と比較し，年齢による負荷が大きく影響していると推測できる．

5 おわりに

本研究では，道路の斜面に注目し，歩行を対象とした瀬戸市のマップ作成を行い，斜面を考慮しない場合との比較を行った．比較の結果，南山大学瀬戸キャンパスから道路の各交差点までの距離が 3km 範囲における地形別，年齢別による特徴を表現できた．つまり，代謝的換算距離を用い歩行マップを作成することで，対象地点から任意の範囲内の地形別，年齢別による特徴を表現できることが示された．

参考文献

- [1] 佐藤栄治，吉川徹，山田あすか：地形による負荷と年齢による身体能力の変化を勘案した歩行換算距離の検討，日本建築学会計画系論文集，第 610 号，133-139，2006．
- [2] 高知工科大学ホームページ：http://www.infra.kochi-tech.ac.jp/takagi/Geomatics/14Interpolation.pdf．
- [3] 白井澄人：東京 23 区における自転車移動の利便性の評価，中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻修士論文，2004．
- [4] 河西朝雄：C 言語によるはじめてのアルゴリズム入門，改訂第 3 版，株式会社技術評論社，2008．