

ストレス計測によるゴルフカートと人の 接近可能距離の検証

武田 将司¹・猪井 博登²・栗山 龍起³・土肥 正男⁴

¹学生会員 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0821 大阪府吹田市山田東4-3-29-301)

E-mail: takeda.masashi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 大阪大学大学院 工学研究科助教 (〒565-0821 大阪府吹田市山田東4-3-29-301)

E-mail: inoi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³非会員 IDEC株式会社 (〒532-0004 大阪市淀川区西宮原2-6-64)

E-mail: kuriyat@idec.co.jp

⁴非会員 IDEC株式会社 (〒532-0004 大阪市淀川区西宮原2-6-64)

E-mail: mdohi@idec.co.jp

本研究は、現在様々な研究・開発が行われている小型モビリティの中でも、今後利用価値が見込まれる自動走行技術を有し、現在すでに運用されているゴルフカートに注目し、安全に運用するために必要な条件の一つとして、衝突等の危険を感じさせることなくゴルフカートが歩行者と同一空間で安全に走行できる距離を検証する。人のストレスを扱うことによりゴルフカートと人の接近時に人が感じる恐怖や驚きを測定し、また折れ線回帰によりストレスの変化が著しい点を分析する。ストレスが著しい変化を示したときの両者間の距離を接近可能距離として扱う。

Key Words : *personal mobility, automation, safety, pedestrian, stress, distance,*

1. 研究の背景と目的

大きな公園やレジャー施設¹⁾ などでは、小型の自動車のような乗り物が走行しているのを見かけることがある。これらはもともとゴルフカートとして作られた乗り物であり、同様の仕様である。速度は低いものの登坂能力に優れ、長距離や坂道を歩行することが困難な人にとっては非常に便利である。レジャー施設内などでは人と同一空間で使用されており、また自動走行が可能であることからあまり他に例をみない乗り物だと考える。寺本ら²⁾ はゴルフカートを住宅地で走行させることを想定した研究を、中野³⁾ らはゴルフカートを住宅地内交通システムとするシミュレーションの研究を行っており、小型モビリティとしてのゴルフカートの今後の展開が期待される。

海外ではゴルフ場はもちろん大学内や観光地、市街地で移動手段の一つとしてゴルフカートが使われている地域もあり、使用が増加している。車体の小ささや維持費の安さの点からゴルフカートの使用は有効である。また人の移動を補助や荷物の運搬を歩行者と同一空間で共存しながら提供することができるというのは非常に有用である。しかし人通りの多い空間で走行すると、ゴ

ルフカートの周りにいる人に接触など物理的な影響だけでなく、危機感・恐怖感など心理的にも悪い影響を与えかねない。それらを防ぐような対策はないため、まずは何に対して対策が必要なのかを明らかにしなければならない。そこで本研究では対策すべき対象の一つとしてゴルフカートと人の距離に着目する。

ゴルフカートに関する安全基準はいまのところ定められていない。そこで本研究ではゴルフカートが人通りの多い環境で人と共存して使用することが可能になるようにするために、安全対策を考案する前段階として、ゴルフカート通過時に人がゴルフカートから受ける影響を検証することを考える。斎藤ら⁵⁾ のようにカート通過時に人に与える影響をストレスとして扱い、本研究では人がゴルフカートからどれだけ離れればストレスをあまり感じずに済むのか、逆にどこまで近づくことが可能なのかということを把握したい。そこで本研究の目的は、人が大きなストレスを感じることなくゴルフカートが通過できるような両者間の距離を把握することとする。人が大きくストレスを感じ始める距離を分析により明らかにすることで、目的にあるような両者間の距離の把握とする。また、距離の違いや速度の違いによるストレスの感じ方

の変化についても考察する。本研究によりゴルフカートの安全化につながることで、今後ゴルフカートが人と共存できる新しい交通手段として使用されること、また現在導入されているゴルフカートの安全化にもつながることを期待する。

2. ストレス評価

斎藤らや山田ら⁹⁾は自動車と歩行者のすれ違いによる危険感というものをストレス値を測ることで明らかにしている。そこで人がゴルフカートから受ける危険などの影響を評価する指標として、本研究では心拍計測による心拍変動の分析を用いる⁷⁾。心拍変動の分析により短時間におけるストレスを算出することができる⁸⁾。計測が容易であることに加えて妥当性が高く、心拍計測から心拍変動を評価することによりストレス計測・評価を行っている既往研究が多く、確立された手法である。心拍変動の分析によりLF/HFという値を算出する。このLF/HFの大きさがストレスの大きさを表す。LF/HFの値は個人差が大きいため平常時における値にしても、どの程度の数値以内だとストレスを感じていないのかというのは明確には定義することができず、単独のLF/HFの数値のみでは人が事象から受けるストレスを評価することはできないという欠点がある。上記の欠点の対策として数値の絶対値ではなく、数値の変化率を求めることでデータの比較・分析を行う。変化率を扱うことで平常時のLF/HFが高い人と低い人との間の個人差を無視できる。また心拍測定は生理指標であるため様々な原因で外れ値が含まれやすいため外れ値の除外が必要である。

3. 実験日時

斎藤らによると自動車と歩行者のすれ違いにおいては歩行者の前方から自動車がすれ違うときよりも歩行者の後方から自動車が追い抜くときの方がストレスは大きい。この研究を参考に本研究でもストレスを感じる状況として後方からの追い抜きを検証した。またゴルフカートは電気で動く電動カートが増加しており、これらは走行音が非常に小さいため後方から近づく際に人は気が付きにくいいため、ストレスに影響すると考える。以上より本研究では後方からの追い抜き時の人の心拍変動からストレスを検証することで人とカートがどこまで近づくことができるのか実験を行った。

本研究では実験条件の設定を行うために事前実験を行った。その結果、ゴルフカートと人との距離を

20,40,60,80cmに設定して測定することにした。これ以上細かく設定すると試行回数が多くなり被験者に疲労によるストレスを与えてしまう可能性があり、これ以上遠い距離では80cmを超えたあたりからは変化が期待できないことが事前実験よりうかがえた。またカートの速度を6.5km/hにして同様に行ったところ60cmより離れてしまうと12km/hにおける80cmの試行と平常時のデータとほぼ同等であり変化が見られないようなので、6.5km/hの場合は20,40,60cmのみで行うことにし、6.5km/h,80cmで行った場合は12km/h,80cmで行った場合の結果と変わらないと仮定した。よってこれらの距離と速度の組み合わせは7通りあり、さらにそれぞれの組み合わせで被験者一人につき4試行ずつ行うことで一人当たり計28個のデータを収集した。どの距離設定、速度の組み合わせから行うかは被験者ごとに変え、ランダムにすることで試行順序による差は無視することができる。被験者は男女差による結果の違いはなく心拍が安定していると思われる20代前後の大阪大学の学生17名⁹⁾とし、心拍計測にはCheck My Heart、ゴルフカートは電磁誘導型ゴルフカートを用いた。電磁誘導型ゴルフカートは地面に埋め込まれた誘導線の上を自動で走行させることができる。何度でも同じ走行位置を走行できるため、この実験のような20cm毎という細かい距離設定もほぼ誤差を生じさせないようにすることが可能である。さらに一定の速度で走行するように制御することで、毎回同じ速度で走行できる。また心拍測定には心拍を正常に測ることを妨げるノイズと呼ばれるものが重要である。今回使用した心拍測定機器は非常にノイズに弱く、心拍測定を行う際にはさまざまな要因からノイズを受けてしまうが、大きく分けて2種類のノイズが生じる。1つ目が、計測機器が心拍を電気信号で測る際に体を動かすなどしてその電気信号にノイズを発生させてしまうものである。2つ目が、計測を行う際に対象とするストレス刺激以外の要素からストレスを受け、対象とするストレス刺激から受けたストレス以上のストレスを計測してしまうという意味でのノイズである。実験を行う際にこれらを取り除く、軽減させる、防止するような対策をしなければならない。そこで、体を動かすことを極力防止するために、被験者には椅子に座ってリラックスさせ、対象としないストレスの影響を受けないような環境下で実験を行った。実験場は大阪大学のキャンパス内の中でも主要な道とされていない、歩行者が極めて少ない遊歩道とし、歩行者や自動車がほぼ通らないため対象としないストレスを抑止できたと考える。

4. 分析

LF/HF を利用している既往研究の多くはストレス測定中ずっとストレスを与え続けるというものであり、例えば向江ら¹⁰⁾は2分間の心拍データを利用して分析を行っている。後藤ら⁸⁾は、心拍変動の時系列データを周波数解析することによって神経性循環調節機能の推定を行う中で、Short Term 解析と題して短時間の時系列データによるスペクトル解析を行っている。それによるとFFT法によるスペクトル解析では、時間幅として時系列データの16点、32点、64点を利用して解析実験を行い、64点であれば安定した解析ができるとしている。本研究の場合はストレス刺激が起こる時間は一瞬であり、その影響を測るためにも強くストレスの影響が残っている時間幅で分析する必要があると考え、また、数分間の繰り返しを行った場合長時間の計測になってしまい、計測のために長時間不動の状態を保ち続けることでストレスが大きくなる可能性があるため、本研究では追い抜きの瞬間を中心とした64拍分のFFT法によるスペクトル解析を行う。

本研究の実験では7種類の試行を4回ずつ繰り返し行った。それぞれ同じ条件で4回ずつ行ったわけだが、LF/HFを算出するにあたり、前述のとおりノイズが入ったり、極端な外れ値が発生したりするケースが見受けられた。そこでデータが4試行分あるものについては外れ値を除外する。本研究では各実験条件で4つずつあるデータのうち、平均値からもっとも離れている値を外れ値として扱い、測定不能データと同等に除くことで各試行のデータを3つずつとするよう統一する。本研究では得られたデータを距離や速度の違いによりどう変わるのかを、被験者全体で比較・分析することで確かめたい。許ら¹¹⁾がLF/HFの個人間の比較を行った方法を参考に、各被験者における21個あるデータの平均ですべてのデータを除することで変化率を求め、比較・分析を行うこととした。変化率は算出したLF/HFの数値の個人差に影響されない。一人の被験者におけるn個のLF/HFの値をX、各変化率をYとし、変化率を求める式を以下に示す。

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1a)$$

$$Y_i = \frac{X_i}{\bar{X}} \quad (1b)$$

しかし変化率においてもゴルフカート以外からのなんらかのストレス刺激を受けたために異常なストレスを感じ、外れ値が発生することが考えられるため、全被験者データの各試行の中で外れ値検定を行うことでさらに外れ値の影響を抑える。外れ値検定として、山森ら¹²⁾はスミルノフ・グラブス検定¹³⁾を行っている。本研究で

もこの検定を行った。この検定では、1回につき1個の外れ値を検出することになる。複数個の外れ値がある場合は、最も大きなものについてまず検定を行い、それが外れ値だとすると次の段階ではそれを除いたn-1個のデータについて同じように検定を行うということを繰り返す。また、本研究では分析する際は各被験者において各試行の3つの変化率データを平均したものをを用いることにした。

上記でLF/HFのデータの扱いを述べてきたが、分析の方針としては、距離の違い、速度の違いにより有意差が生じるか検証した。そこでまず等分散性の検定を行った。これはF検定と呼ばれる。次の段階では距離の違いによりストレスの感じ方に有意な差があるかどうかを確かめていきたいので、このF検定の結果次第で有意差検定の方法が変わってくる。正規性の検定も行い、その結果が等分散かつ正規分布である場合はt検定を行い、不等分散であればノンパラメトリック検定を行った。

まず速度別の設定距離間で、等分散性の検定を行った。F検定の帰無仮説を分析する2つの群が等分散であることとし、5%水準により帰無仮説が棄却されれば不等分散、棄却されなければ等分散となる。F検定の結果を表1に示す。

表1 F検定結果（距離間）

12km/h	p 値	
80cm-60cm	0.4949	等分散
80cm-40cm	0.2108	等分散
80cm-20cm	0.0982	等分散
60cm-40cm	0.2122	等分散
60cm-20cm	0.1013	等分散
40cm-20cm	0.3139	等分散

6.5km/h	p 値	
60cm-40cm	0.04569	不等分散
60cm-20cm	0.0001528	不等分散
40cm-20cm	0.01352	不等分散

表2 正規性の検定結果

12km/h		正規性の検定		
		Shapiro-Wilk		
変化率	距離	統計量	自由度	有意確率
	20cm	0.95	14	0.565
	40cm	0.962	14	0.756
	60cm	0.96	14	0.724
	80cm	0.959	15	0.678

6.5km/h		正規性の検定		
		Shapiro-Wilk		
変化率	距離	統計量	自由度	有意確率
	20	0.972	15	0.893
	40	0.98	15	0.97
	60	0.939	14	0.408

次に前述のとおり正規性の検定を行う必要があるためそれぞれのデータ群に対し正規性の検定を行った。5%水準のもと正規性があるという帰無仮説を棄却すれば正規性はないつまり正規分布ではないとし、棄却されなければ正規性がある、正規分布であるとする。検定の方法にはShapiro-Wilks検定を採用した。表2に正規性の検定の結果を示す。

F検定と正規性の検定の結果を受けて、t検定もしくはノンパラメトリック検定の有意差検定を行うことで距離の違い、速度の違いにより有意な差がみられるかどうか分析した。ノンパラメトリック検定としてMann-Whitney検定を行った。どちらも帰無仮説を有意な差はないとし、5%水準で検定した。表3、表4に分析結果を示す。

表3 距離間の有意差検定結果

12km/h	p値	有意差の有無	検定法
80cm-60cm	0.007	あり	t検定
60cm-40cm	0.023	あり	t検定
40cm-20cm	0.0000301	あり	t検定
80cm-40cm	0.0000638	あり	t検定
80cm-20cm	2.518E-10	あり	t検定
60cm-20cm	7.119E-08	あり	t検定

6.5km/h	p値	有意差の有無	検定法
60cm-40cm	0.001	あり	ノンパラメトリック検定
40cm-20cm	0.00	あり	ノンパラメトリック検定
60cm-20cm	0.00	あり	ノンパラメトリック検定

表4 速度間の有意差検定結果

距離	p値	有意差の有無	検定法
60cm	0.00121	あり	t検定
40cm	0.111	なし	t検定
20cm	0.477	なし	ノンパラメトリック検定

表3より12km/hにおいて60cmと40cmの試行では帰無仮説は棄却されず有意な差が得られなかった。しかしその他の検定結果はすべて帰無仮説を棄却しており、有意確率が1%以下のものが大半であるため、距離によって差があることを表していると考ええる。表4より60cmの試行では帰無仮説が棄却されるため速度に有意な差があることが分かる。しかし他の距離の試行では有意差はみられない。よって12km/hと6.5km/h程度の速度の差では接近すればするほど速度のストレス値における影響は小さいと考えられる。

5. 折れ線回帰

本研究では実験の結果としてさらにゴルフカートと人がどこまで近づくことが可能な距離を算出したい。先に述べたようにストレスは距離が近くなることで大きくなるが、ストレスの増加は単調増加ではないと仮定し、ある変曲点を境に大きくストレスを感じるようになるを考える。そこで変曲点までは近づいても人の反応は大きく変化しないと考え、変曲点までをもって、近づくことが可能な距離とした。変曲点の算出には折れ線回帰を用いる。なお本手法の類例として、濱野¹⁴⁾が無休水の造園樹木の生存率に折れ線回帰をあてはめ変曲点を求めることにより枯死個体の発生が始まる期間を割り出した。折れ線回帰は2本の直線回帰により求められるため、データを2つに分ける必要がある。最適な変曲点や傾きを求めるために、残差平方和が最も小さくなるようにデータを2つに分ける点を分割点とする。そこで今回は遠藤¹⁵⁾が凍害を受けたコンクリートの研究で使用した例がある、青木¹⁶⁾が作成した折れ線回帰を求めることができるプログラム「二本の直線による折れ線回帰」を利用し、もっとも残差平方和が小さくなる分割点を求めそのときの二直線の交点をもって変曲点とし、変曲点を算出する。12km/h、6.5km/hともに折れ線回帰を求めるが前述のとおり6.5km/h,80cmにおいては12km/h,80cmのデータと同等と考えあてはめる。プログラムにより折れ線回帰を求めた結果を図1、図2に示す。

12km/hの場合、折れ線を書き込むと上の図のように

なる。二直線の交点つまり変曲点は約 58.1cm となった。58.1cm より近づくと急激にストレスを感じることが予想される。6.5km/h の場合、二直線の交点は約 48.4cm となった。これは 12km/h の結果と比べ距離が近くなっている。傾きが小さいほうの直線がほぼ水平になっており、極端な変曲点であるといえる。

求めた折れ線回帰の精度を確かめるため、決定係数を求めた。管⁹⁾によると決定係数により回帰を評価することができるため、求めた折れ線回帰は12km/h、6.5km/hともに決定係数は精度がやや良いといえる数値である。

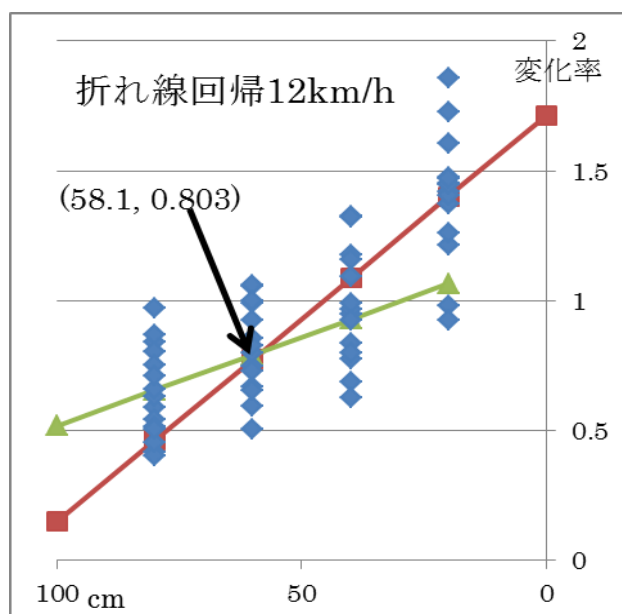


図1 折れ線回帰グラフ12km/hの場合

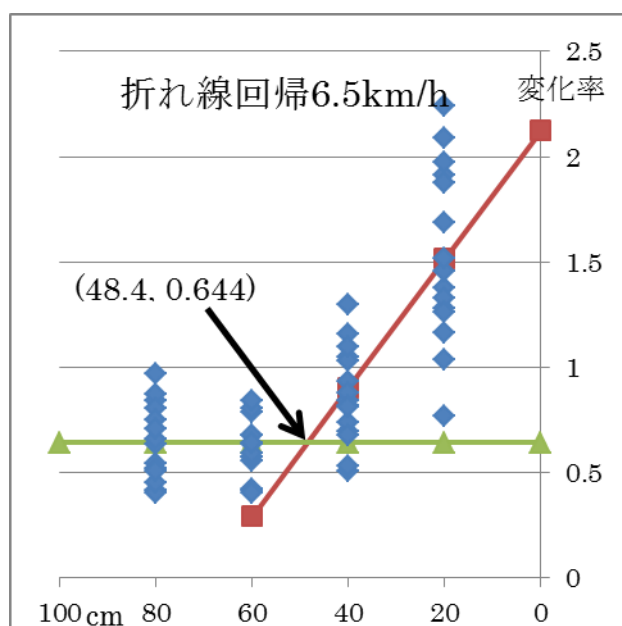


図2 折れ線回帰グラフ6.5km/hの場合

6. 結論

本研究ではゴルフカートが人に与える影響をストレスとして扱い、どの程度両者が近づくとストレスを大きく感じてしまうのか、どこまで近づることができるのか、その具体的な距離を把握しようと実験・分析を行った。分析により、距離や速度の違いによる有意差の有無やゴルフカートと人が 58.1cm より近づくとストレスを大きく感じてしまう可能性があることがわかった。約 60cm までならば危険を感じさせることなく近づくと可能だという考え方もできると考える。さらに速度を小さくすると 48.4cm までは許容できる。本研究の目的であった、人とゴルフカートが近づることができる具体的な距離を把握することができたといえる。また、40cm よりも近づくとストレスの速度による有意差はなく、速度に関係なくストレスを大きく感じるらしいことから、6.5km/h の折れ線回帰の結果より 48.4cm より近づくとそれ以上減速しても効果はなく、停止するほうが効果があると考えられる。この結果を用いて、人とゴルフカートが約 60cm 以上、減速時でも約 50cm 以上の距離を確保できるような対策、技術、環境整備等を考案することにつなげられるかどうか重要である。一案としては、ゴルフカートが通過する場所はわかりやすくはっきり色分けしておくことでゴルフカートが通過する可能性があることを伝える、60cm より近づいた場合は自動で停止もしくは減速する、許されるのであれば歩行者が気付くよう警告音を発するといったようなことが考えられる。しかし実際に実現可能なのか、また実際に行い効果はあるのかというところを明らかにする必要がある。また、環境や状況が違う場合に同じような結果になるとは限らない。直線部ではなく曲線部、違う速度でも行うなど異なった条件下でも同じことがいえるかどうかは明らかではない。以上から本研究で得られた結果のみで、ゴルフカートが施設内、建物内など人と同一空間で使用されるような交通システムを提案することは難しいと考える。今後もゴルフカートが新しい移動手段として使用されることをめざし研究を続けていきたい。

本研究ではゴルフカートを対象に、ゴルフカートが人に大きなストレスを与えることなく近づることができる距離を具体的に求めた。今後、本研究の結果により安全

対策が考案されゴルフカートの安全化につながることに期待する。また、今回の結果だけでなく、今回行った実験や使用した指標が、他の乗り物や今後新しい乗り物を開発する際に応用できる可能性をもつと考える。

謝辞：本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「生活支援ロボット実用化プロジェクト」において委託業務として行っているものです。本論文の執筆にあたり多大なご助言をいただきました関係者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) ヤマハリゾートつま恋ホームページ
<http://www.tsumagoi.net/play/amusement/details.php?id=1323743312>
- 2) 中野文雄 寺部新太郎：「ゴルフカートを活用した住宅地内交通システムの設計」高知工科大学論文 2005
- 3) 寺本亮太 中村真之 松尾翔太 孫学強 高木良太：「オールドニュータウン救済計画～陸の孤島化に先手を打つ～」熊本大学政策研究 3, 93-104, 2012-03-23
- 4) 石川昭義 大野木裕明 伊東知之：「保育士のヒヤリハット体験」仁愛大学研究紀要. 人間生活学部篇 1, 39-52, 2009-12-30
- 5) 斎藤健治 清田勝：「自動車、自転車とのすれ違いにおける歩行者のストレスに関する心拍変動による評価」佐賀大学理工学部集報 34(2), 1-7, 2005-12
- 6) 山田晴利 青木英明 吉田朗：「歩道幅員と歩行時の安全感」土木学会大 41 回年次学術講演会 昭和 61 年 11 月
- 7) 森本恭行 猪井博登 石橋達男 西岡基夫：「ハンドル形電動車いすの単独事故発生防止における急停車の搭乗者への負担調査」土木計画学研究・講演集 Vol42 2010
- 8) 後藤貴文 松浦弘毅 村本健一郎：「心拍変動解析による自律神経機能の推定」一般社団法人電子情報通信学会電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス 102(507), 13-16, 2002-12-06
- 9) 梅谷健 小森貞嘉 河埜功 石原司 沢登貴雄 石井博之 井尻裕 田村康二：「心拍変動の概日リズムに及ぼ

す加齢の影響」社団法人日本循環器学会 63(supple1), 369, 1999-03-01

- 10) 向江秀之：「自律神経指標としての皮膚血流リズムの検討」日本生理人類学会誌 Vol.13, No.3, 2008. 8
- 11) 許鳳浩 王紅兵 上馬場和夫：「炭酸泉足浴と淡水足浴による生理・心理・生化学的変化の比較」日本温泉気候物理医学会雑誌 70(3), 172-185, 2007-05
- 12) 山森一人 春日亀裕也 吉原郁夫：「高信頼化モデル構築用サンプルを用いた GMDH による生理活性値推定」宮崎大学工学部紀要 40, 245-250, 2011-07-30
- 13) 青木繁伸：「スミルノフ・グラブス検定」群馬大学社会情報学部 2006 社団法人日本建築学会 日本建築学会計画系論文集 (484), 81-87, 1996-06-30
- 14) 濱野周泰 古賀正 青木司光 北沢清：「造園樹木における無休水日数と生存率ならびに土壌水分との関連について」日本造園学会研究発表論文集 (5) 1987-03-31
- 15) 遠藤裕丈 田口史雄 林田宏 草間祥吾：「凍害を受けたコンクリートの評価手法に関する研究」寒地土木研究所月報 No.649 2007 年 6 月
- 16) 青木繁伸：「二本の直線による折れ線回帰」
<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/JavaScript/corr3.html> 群馬大学社会情報学部 2006
- 17) 菅民郎：「多変量解析の実践 上」、現代数学社、pp.35~39、1993.

(?)

THE DISTANCE THAT A GOLF CART DOES NOT SURPRISE PEDESTRIANS

Masashi TAKEDA, Hiroto INOI, Tatsuyoshi KURIYAMA and Masao DOHI