

発展途上国におけるBCALsの適用とIRI評価*

An Application of BCALs and IRI Evaluation in a Developing Country*

清水昭典**・羽藤英二***

By Akinori SHIMIZU**・Eiji HATO***

1. はじめに

近年、発展途上国では経済活動の活発化に伴い、車やバイクの台数が急速に増加している。その一方で、交通システム、ルールは確立されず、人々の交通マナーの欠如による交通事故の増加、交通渋滞、大気汚染などが大きな社会問題となっている。さらには、道路整備の遅れ、道路の老朽化により、発展途上国での道路交通環境は悪化する一方である。

こういう現状の中で、発展途上国では道路整備を積極的に行っていくとする動きがある。そのためには、それぞれの道路についての整備状態、交通量を把握し、どの道路から整備するべきかを見極めることが重要になってくる。しかし、道路の整備状態、つまり、路面の凹凸を正確に測定するには大掛かりな装置が必要であり、コストも高く、簡単に評価することは困難な状況にある。そこで、我々の研究室で開発した簡易型加速度計測機器(BCALs)を用いた路面凹凸の評価手法確立の可能性、路面の舗装状態評価指標作成の可能性に着目し、検討した。

本稿では、ネパールに焦点を当て、ネパールでの現地調査により得たBCALsのデータを用いて解析する。

2. BCALsの概要

(1) BCALsについて

BCALs (Behavioral Context Addressable Loggers in the Shell) は、被験者に携帯してもらうことで、行動に伴う加速度や音、気圧等を観測し、記録することのできる計測機器である。各種のセンサから、被験者の行動文脈データや、被験者の周辺環境のデータを取得し、施設属性や交通機関などを推定することを目的とする。

BCALsより取得可能なデータについて以下に示す。

<加速度データ>

加速度データは、3軸加速度センサによるX、Y、Z方向の加速度である。観測周期は1/32秒である。

<音データ>

BCALsでは閾値を設定し、閾値レベル以上の音が発生する回数をカウントし、音データとしている。カウント回数が多いほど、高周波数ノイズ環境にいるということになる。観測周期は1秒である。

<気圧データ>

気圧データは、高度により変化するため建物内のフロアの移動など、高度の変化を伴う行動を推定する場合に有効である。高度が高くなると気圧の値は小さくなり、高度が低くなると気圧の値は大きくなる。気圧を微分処理することにより、気圧の変動を見ることができる。観測周期は1/32秒である。

<角速度データ>

角速度データは、ジャイロスコープセンサから得られるX軸周りの角速度である。1/32秒周期で観測される。

<紫外線データ>

紫外線データは、BCALs上部に搭載されている紫外線センサから得られる検出電圧の値である。1秒周期で観測される。

<方位データ>

方位データは、地磁気センサにより観測される。X軸を重力加速度方向に向けた状態で得られる、Z軸の北に対する角度である。1/32秒周期で観測される。

<温度データ>

温度データは、温度センサから得られる気温のデータである。2秒周期で観測される。

<湿度データ>

湿度データは、湿度センサから得られる湿度のデータである。2秒周期で観測される。

<GPSデータ>

GPSアンテナが衛星を捕獲し測位を行うことで、GPSデータを観測することができる。GPSデータとして得られるものは緯度、経度の位置座標データの他に、GPS時刻、高度、速度、方位、GPS位置誤差楕円、長軸方位角がある。GPSデータは全て1秒周期で観測される。

*キーワード：整備効果計測法、開発技術論

**学生員、愛媛大学大学院理工学研究科

(愛媛県松山市文京町3,

shimizu@eh.cee.ehime-u.ac.jp)

***正員、工博、東京大学大学院工学系研究科

<マーキング>

観測中に「○」、「△」、「×」、「#」ボタンを押すと、それぞれ対応する「1」、「2」、「3」、「4」の数字をその時刻のデータに書き込むことができる。

これらのデータは、BCALs に内蔵したメモリーカードに記録され、専用のダウンローダを用いてコンピュータ内に取り込む。

(2) IRIについて¹⁾

道路の整備状態は路面の縦断方向のラフネスによって評価するのが一般的である。1986年に世界銀行によって提唱されたIRI (International Roughness Index: 国際ラフネス指数) は路面の平坦性を統一的に評価できる指標である。IRIは「通常用いられている2軸4輪の乗用車の1輪だけを取り出して抽象化した仮想車両をクォーターカーと呼び、このクォーターカーを一定速度で路面を走行させたときに車が受ける上下方向の運動変位の累積値 (m) と走行距離 (km) との比をもって、その路面のラフネスとする」と定義されており、上下方向の運動変位と走行距離が分かれば、BCALsを用いることでもIRIと同様な評価ができるのではないかと考える。クォーターカーを図1に示す。

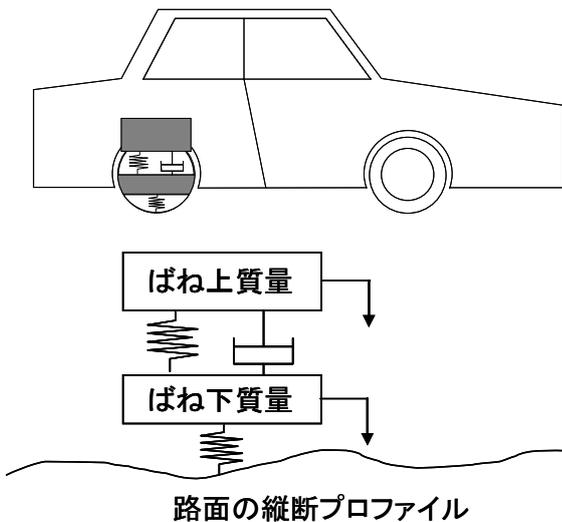


図-1 クォーターカーモデル

3. 調査概要

被験者にBCALsを左腰に装着して行動してもらうことで、被験者の行動文脈データや、被験者の周辺環境データを取得するために行った調査である。「センサーデータ用」に左腰に1台と「GPSデータ用」に手に持つ1台の計2台を持ってもらい調査を行った。バイクで移動の被験者には、ヘルメットをもう一つ持って移動してもらい、その中にBCALsを入れて計測、または後部座席に座った人に手に持ってもらう計測することで対応した。車で移動する人は、

ダッシュボードにBCALsを置いてもらうことでGPSデータを取得した。この調査における被験者の操作は、GPS取得のためにBCALsを屋外でかざすこと、そのあと「○」ボタンを押して計測を開始すること、「○」ボタンを押して計測を終了することである。

ネパール工科大学の先生や会社員の計4名に被験者となってもらった。毎日2台のBCALsを携帯してもらい1週間の調査を行った。

4. BCALsから取得したデータ

被験者の中で多くのデータが取得できているものを分析対象とした。このモニタAの主な移動手段はバイクである。

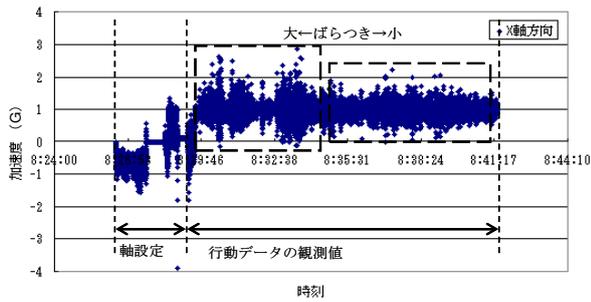
路面の整備状態を評価するには、上下方向の路面の変位を知る必要がある。そこで、鉛直方向の加速度に注目し、そのデータについて解析する。

BCALsからは、3軸方向 (X, Y, Z軸) の加速度のデータが得られる。それを図2, 図3, 図4に示す。図2のX軸方向の加速度が1を中心に分布しているのは、重力加速度 (1G) を考慮した値になっているからである。

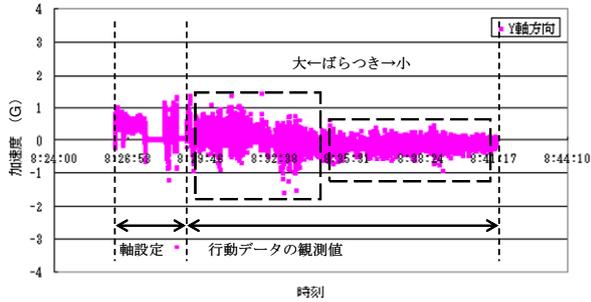
上下方向の加速度変位 (図2) のばらつきは、観測後半よりも最初3分間のほうが一定でないことがわかる。左右方向 (図3)、進行方向 (図4) でも、上下方向同様に観測前半のばらつきが後半よりも大きいとわかる。

前半のばらつきは、路面が粗いもしくは舗装されていない道路を走行していると考えられる。ばらつきが一定である後半は、路面が平坦な道路もしくは舗装されている道路を走行していると考えられる。また、上下振動に伴いモニタAが左右、進行方向に対して揺さぶられる影響により、路面の粗い前半でのばらつきがさらに大きくなっていると考えられる。

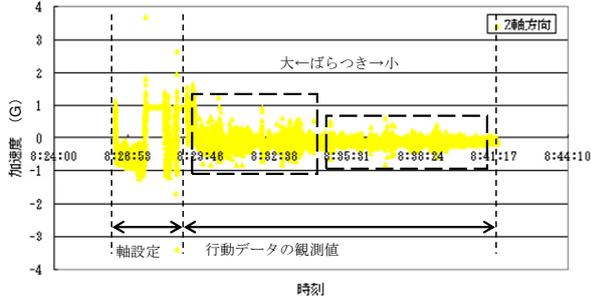
道路の平坦性は、X軸方向の加速度変位のみを用いて評価可能であると考えられる。以降の分析は、走行時刻のX軸方向加速度変位を用いることで、モニタAが体感した振動を評価し、路面の舗装状態について考察を行う。



図一 時刻-X 軸方向（上下方向）加速度変位



図一 時刻-Y 軸方向（左右方向）加速度変位



図一 時刻-Z 軸方向（進行方向）加速度変位

(1) 路面の粗さの算出方法

路面の粗さを、IRI の評価指標である、「上下方向の運動変位の累積値 (m) と走行距離 (km) との比」を用いて、路面の粗さを評価する。BCALs のデータからの上下方向の運動変位の累積値と走行距離を求める方法を述べる。

a) 上下方向の運動変位の算出方法

鉛直方向には常に 1 (G) の重力加速度がかかっており、純粋な上下方向の加速度を求めるためには加速度データの値から重力加速度を引く必要がある。しかし、BCALs 本体も振動を受けており、実際は BCALs の X 軸方向に 1 (G) の重力加速度はかかっていない。そこで、10 秒間ごとに加速度の平均値をとり、その値を加速度データから引くことで、上下方向の加速度とする。

次に、加速度の単位が (G) であるので (m/s²) に変換する。そのため重力加速度である 9.80665 (m/s²) を掛ける。

そして、求めた上下方向の加速度 α に計測間隔の 1/32 (s) をかけ、前の速度 v_1 を足して現在の速度 v_2 が求まる。

今回の調査の場合、家から出る直前の速度 0 とすると、 v_1 の初期値は 0 となる。 v_2 を求める式を (5.1) に示す。

$$v_2 = a(1/32) + v_1 \quad (5.1)$$

求めた v_2 の値に測定間隔の 1/32 (s) を掛けることで、そのときの変位 x が求まる。 x を求める式を (5.2) に示す。

$$x = v_2(1/32) \quad (5.2)$$

運動変位を求めたい時間分、以上の計算を行うことで、その間隔の上下方向の運動変位の累積値が求められる。

b) 走行距離の算出方法

BCALs で取得できる GPS データを用いて、走行距離を求める方法を述べる。

BCALs の GPS の位置データは緯度・経度の値で表されるので、緯度・経度から平面直角座標に変換する。

GPS データは 1 秒間隔で取得されているので、走行距離を求めたい時間分について 1 秒間隔ごとの 2 点間距離を求め、その和が求めたい時間分の走行距離となる。

c) 上下方向の運動変位の累積値と走行距離との比の算出方法

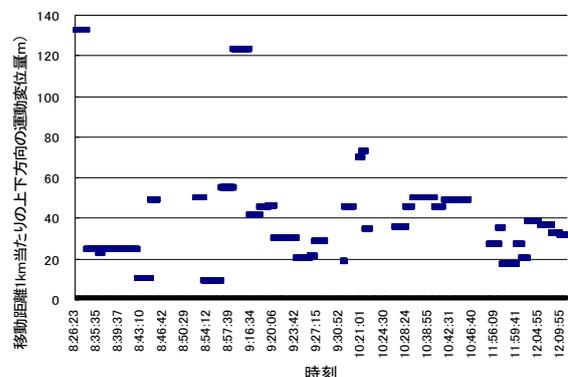
「a) で求めた上下方向の運動変位」を「b) で求めた走行距離」で除すことにより、上下方向の運動変位の累積値 (m) と走行距離 (km) との比が求まる。

(2) ネパールの道路への適応事例

モニタ A の 2006 年 1 月 31 日 (火) のデータを用いて道路整備状態を評価する。

a) 1 (km) 当たりの上下方向の運動変位の算出結果

(1) に示した方法で経路別に解析し、1 km 当たりの上下方向の運動変位量を求めた。それを時刻に対応させて表示したものを図 5 に示す。運動変位量が極端に大きいところと、極端に小さいところが存在することが分かる。これより、ネパールの道路の舗装状態は様々であり、道路整備にばらつきがあるとと言える。



図一 移動距離 1km 当たりの上下方向の運動変位量 (m)

b) BCALsによる道路整備効果評価の提案

1 km 当たりの上下方向の運動変位量によりランク分けすることで、モニタ A が 2006 年 1 月 31 日に通った経路の路面の粗さを評価する。1 km 当たりの上下方向の運動変位量の小さい順、つまり路面の舗装状態の良い順に「◎」、 「○」、 「△」、 「×」の 4 つのランクに分ける。ランクの閾値はそれぞれ 1 km 当たりの上下方向の運動変位量の値が「～23」、 「23～50」、 「50～70」、 「70～」とした。これを表示したものが図 6 である。解析に用いた 2006 年 1 月 31 日の移動経路長に対する、解析対象経路は、「◎」評価の道路が 25%、 「○」評価の道路が 60%、 「△」評価の道路が 10%、 「×」評価の道路が 5%の割合で構成されている。これは、極端に悪い道路は少なく、相対的にきれいな道路も 25%存在するため、解析対象経路は比較的、道路整備の進んでいる道路であるといえる。

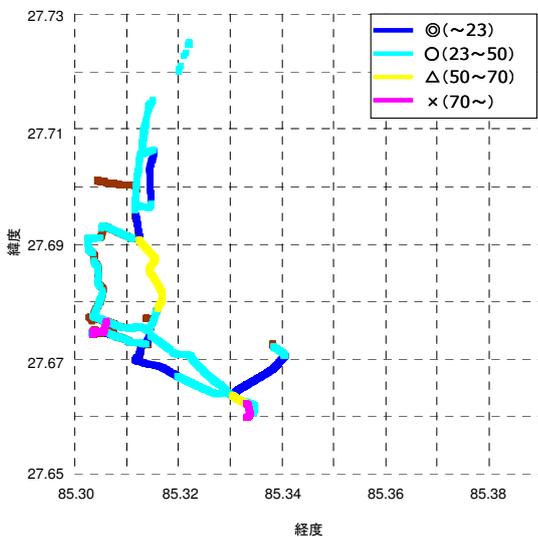


図-6 移動距離 1km 当たりの上下方向の運動変位量 (m)

c) 時間単位での道路整備効果評価

b) で行った評価はある経路全の舗装状態を評価したが、ある一つの経路に着目し、経路内を一定間隔に区切り、舗装状態にランクをつける。これにより、道路整備状況の遅れている区間の把握が行え、スムーズに道路整備を進めることが可能となる。

図 6 で「△」と評価されていた経路 (図 7) に着目して分析を進める。b) で示した方法では、ある経路の上下方向の運動変位を累積していたが、今回は 5 秒間隔で上下方向の運動変位を累積し、その 5 秒間での移動距離で除す方法で評価を行った。また、5 秒毎に道路にランクを付け、色分けを行った。その結果を図 8 に示す。この結果より、同じ路面状態と思われた道路も詳細な評価を行うことで、路面の状態が区間により様々であることが分かる。また、短区間を評価すると、くぼみがあるかないかによって評価が異なると考えられる。この経路は、「◎」評価の道路が 26%、 「○」評価の道路が 33%、 「△」評価の道路が 20%、 「×」評価の道路が 21%の割合で成り立っている。

この経路を一樣として考えたときは「△」評価だったが、このように、5 秒間隔で区切ることで、「◎」評価、「○」評価の割合が高く、平坦性の高いところが多い結果となった。このことにより、この道の評価は、悪い道路というよりは、手入れのなされていない箇所のある道路であるといえる。このように、狭い範囲で舗装状態を評価することで、道路の劣化箇所、未舗装箇所を知ることが可能であると考えられる。

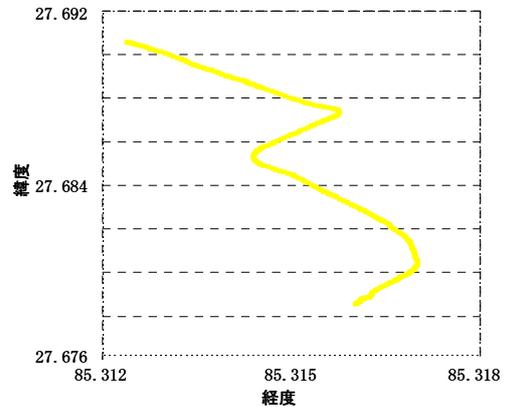


図-7 分析対象経路

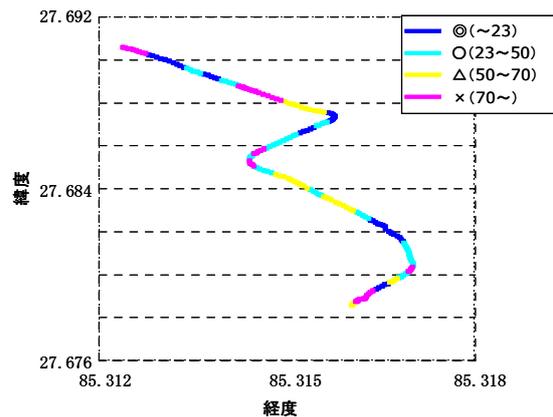


図-8 5秒毎の整備効果評価

5. おわりに

本来は被験者の行動文脈データや、被験者の周辺環境のデータを取得する目的で開発した機器を用いて、道路の平坦性を評価した。ネパールの路面の粗さを相対的に評価する指標を示すことができた。今後の課題として、国際的な評価指標である IRI と論理的に整合した評価指標の構築が必要である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、筑波大学の石田東生教授、堤盛人助教授には多大なるご協力を頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 舗装 39—12, Part4 品質管理・試験 No.7～9, pp.21 -23, 2004.