

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21360248

研究課題名（和文） 適切な 1.5 車線の道路整備推進のための走行安全性および円滑性評価手法の構築

研究課題名（英文） Establishment of safety and smoothness evaluation method for suitable quasi-2-lane roads

研究代表者

熊谷 靖彦（KUMAGAI YASUHIKO）

高知工科大学・地域連携機構・教授

研究者番号：10368855

研究成果の概要（和文）：本研究は、適切な 1.5 車線の道路整備推進のため、評価方法の確立を試みたものである。具体的には、ミクロ交通流シミュレータを用いて、走行時間や対向車との離合時に発生する後回数等を算出する方法、対向車の有無の判断に大きな影響を与える見通しを自動的に判定する方法を構築した。また整備効果は交通円滑性等の直接的なものだけでなく、QOL 等の間接的なものも考えられるため、これらを総合的に評価する方法を構築した。

研究成果の概要（英文）：This research tries to establish the evaluation method for promoting the suitable quasi-2-lane roads. By using microscopic traffic simulator, the method, which specifically can calculate the number of retreats when two opposite oncoming vehicles meet at the narrow point and also can judge the prospect of the existence of an oncoming vehicle, were built. Moreover, not only direct effect such as traffic smoothness but also indirect effect such as QOL, were necessary to consider, total evaluation method considering those effects were built.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|------------|-----------|------------|
| 21 年度 | 6,300,000 | 1,890,000 | 8,190,000 |
| 22 年度 | 4,300,000 | 1,290,000 | 5,590,000 |
| 23 年度 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |
| 総計 | 13,900,000 | 4,170,000 | 18,070,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、土木計画学・交通工学

キーワード：交通工学、1.5 車線の道路整備

1. 研究開始当初の背景

1.5 車線の道路整備は比較的交通量の少ない主に中山間地域において、従来の画一的な 2 車線の連続改良にこだわらなく、2 車線改良、1 車線改良、突角の是正や待避所の設置などを効果的に組み合わせる道路整備手法で、高知県が発案し既に 34 道府県が採用しており、地方の実情にあった手法と言える。しかしながら、1 車線の狭隘区間を走行するドライバーにとり、対向車との行き違いの困難さに伴う安全性や円滑性が損なわれ、事故

も発生している。そこで、提案者らはその対策として「中山間道路走行支援システム」を開発し、その後高知県ほか計 7 県で 46 システム（平成 19 年度末時点）が採用され、加藤らの評価によると一定の効果を確認している。更に、提案者らはより安価かつ簡易なシステム（ゆずりあいロード支援システムと命名）の開発に着手し、県道のみならず市町村道への展開も意識し進めている。しかしながら、これらの走行支援システムと 1.5 車線の道路整備の定量的な関係が明確になって

おらず、道路管理者は設置導入する指針を必要としている。さらに 1.5 車線の道路整備は明確な基準がなく、自治体や担当者によって異なる基準によって道路整備が行われる恐れがあるため、明確な整備基準が求められている。

2. 研究の目的

1.5 車線の道路整備を計画するにあたって、道路交通の安全および円滑を図るため、地域の特性やドライバー属性を考慮した整備手法（ハードおよびソフト）を検討すると共に、整備の事前、事後の評価ツールを開発する。

そのため、本整備が進められている道路の地形等から見通し度合いを数値化する「地理シミュレータ」を開発し、通過交通量と走行速度、更には走行ドライバーの特徴や動態等を調査し、幾つかに分類及び数値化を行う。

また、連続改良や突角の是正、待避所設置などのハード整備状況および走行支援の機器やシステムの設置状況とその効果を評価する。そして、これらの調査で得られた結果を元に専用の交通流シミュレータの開発を行い、1.5 車線の道路整備推進のための評価ツールとする。

3. 研究の方法

走行する車両にとって、1.5 車線の道路整備が従来の 2 車線道路整備に比べて劣る点として、道路幅員が狭いことやカーブの曲率半径が厳しいことによって走行速度が低くなる点と、狭隘な区間で対向車と離合に苦勞する 2 点がある。前者はその道路が持つ性能に依存し、後者は対向車の存在と言う交通状況と、見通しと言う道路環境に依存する。そこで道路性能・交通状況・道路環境を交通流シミュレータに取り込み、所要時間や離合時の後退回数を算出し、直接的な効果を算出する。なお道路環境に関しては、GIS や測量技術等を活用し、見通しをシミュレートする地理シミュレータの開発を行う。最後に、地域の特性やドライバー属性を考慮した整備手法（ハードおよびソフト）の評価ツールとして、整備効果のロジックを整理し、総合的な評価手法を構築する。

4. 研究成果

(1) 「交通流シミュレータ」を活用し、走行に要する時間や、対向車との離合によって生じる後退回数等の直接的効果を算出する方法を構築した。交通流シミュレータを本研究に用いるにあたっては、対向車との離合という特異な事象があり、一般の交通流シミュレータがこの機能を有しているか調査・検討を行った。結果、マイクロ交通流シミュレータ「KUNJ・Sakura」のみが、多少の改良を行うことで疑似的に取り扱えることが判明した

ため、本研究に用いることとした。シミュレータに入力した数値は、道路台帳や実験車を実際に走行させて得られたデータ等を用いた。また対向車との離合時に後退が生じた場合は、後退距離が短い車両が後退することとし、シミュレーションを実行した。用いた実走行実験データは、高知県道 30 号及び 33 号で、2011 年 9 月～10 月にかけて実施された実験で得られたデータを活用した。実験は、車速パルス、ブレーキ及び後退ランプの on/off 信号等を記録する機器を取り付けた実験車を、様々な属性の被験者が、設定したコースを 4 往復する方法で行われている。図 1 は、ある被験者が県道 33 号を走行した結果の内、ある区間の結果であるが、赤で記した 2 往復目で対向車と遭遇し、後退しているデータである。このような実データを分析の上、シミュレーションで用いた。

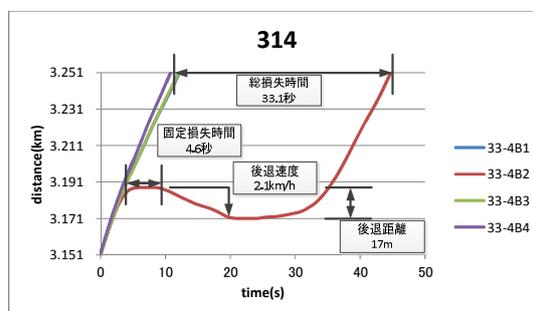


図 1 固定損失時間および後退速度の例

(2) 地理シミュレータの開発を目標とし、同等の成果である見通しを判定する方法を検討し、検討した方法が有効であることを確認した。データとして 10m メッシュの標高データは、日本全国をカバーしており、見通し判定を全国に展開するのに非常に有効と考えられた。そこで 2009 年度に調査対象地域を設定し、検証データを作成した。調査対象地域は、高知県道 30 号香北町西川から安場坂へ向かう約 3km の区間である。路線上に 382 点の観測ポイントを設定し、各ポイントの三次元座標を GPS とトータルステーションを用いて計測するとともに、各ポイントからどのポイントが見通せるかを確認した。図 2 は、その実測データを示しており、各ポイントから 15 点以上見通せる場合は青、5 点以下しか見通せない場合は赤で表現している。2010 年度に 10m メッシュ標高データを用いて、見通し判定を行い、その有効性を確認した。見通し判定は、10m メッシュ標高データ上に、実測を行った観測ポイントデータを重ね合わせ、測点間に見通しを妨げるメッシュが存在するかどうかを判定するプログラムを作成した。図 3 は、その判定プログラムの概念を表したものである。矢印の出発点は見通し判

定のポイントを意味し、矢印の先のメッシュが見えるか見えないかを判断させる。この場合、左奥のポイントは、見通しを遮るメッシュが存在するため、見えないと判定される。合致率で10mメッシュ標高データの見通し判定結果を評価した。その結果50%と非常に低い結果となった。標高データの分解能が10mと非常に低い上、障害となり得る樹木や建物、塀などの情報がないために標高データからは見通せると判断されても実際には見通せない部分が半数あったことが確認された。2011年度には、MMS(Mobile Mapping System)車両を用いた計測を行い、それで得られたデータを用いて見通し判定を試みた。MMSは、車両に高精度GPSとIMU、カメラ、レーザー距離計が搭載されており、道路とその周辺の形状を3~20cmの間隔の三次元ランダムポイントデータが取得されるものである。非常に高分解能で、三次元データを取得できることから、見通し判定にも有効と期待される。図4は、MMS車両による三次元計測の概念図で、車両より斜め下向きにレーザーを照射し、三次元座標を計測する。車両は、移動しながら計測することで、高密度の三次元データが取得できる。MMS車両により得られた三次元データは、メッシュ標高データではなく、ランダムポイントの三次元座標のデータのため、見通し判定のためには工夫が必要である。図5は、MMS計測データを用いた見通し判定手法の概念図を示したものである。あるポイントから、他の計測ポイントが見通せるか、見通せないかを判断するとき、ポイント間を直線で結び、その直線上に障害物となる計測データが存在するかを判断させなければならない。このとき、計測データが点でしかないために、直線上に存在する計測データは、極めて少なくなる。そこで、計測データと直線との距離に着目し、一定の距離未満の計測データが何個存在するかによって障害物か否かを判断することとした。つまり、判定対象となる直線とMMS計測データの距離を設定し、それより短い距離の計測データが何点あれば障害物となりうるのか、現地調査による実測データと比較することで、最適なパラメータを導いた。その結果、距離2m未満に100点の計測データが存在する場合は、見通せないとするのが妥当であることが解った。そのときの正解率は78%に留まったが、10mメッシュ標高データよりも高い正解率を得ることができた。90%以上にならなかった理由は、MMS計測データは、車両から斜め下向きのレーザーにより計測されているのに対して、実測データは水平方向の視線によって評価したものなので、MMS計測で捉えきれなかった障害物等が存在すると考えられる。また、MMS計測データと実測データとの位置合わせの問題も含まれている。1.5車線の道路整備に

おけるITS走行支援システムに関しては、極めて見通しの悪い箇所が連続して続くような場合に限られる。したがって、8割程度の正解率であれば、MMS計測によって得られたデータは、ITS走行支援システム設置位置の自動選定に活用できると期待できる。

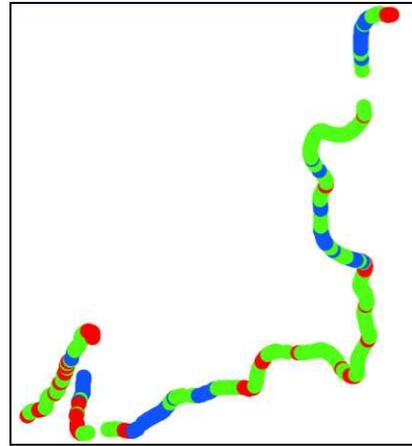


図2 現地調査による見通し判定結果

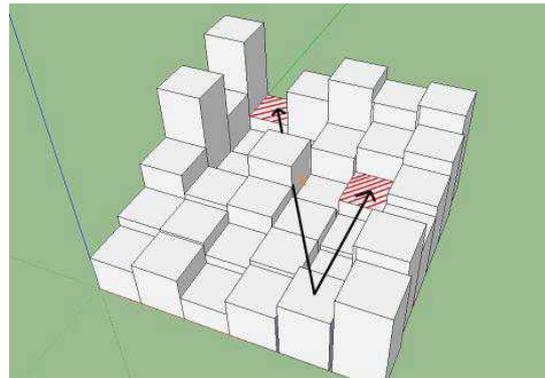


図3 見通し判定プログラムの概念図

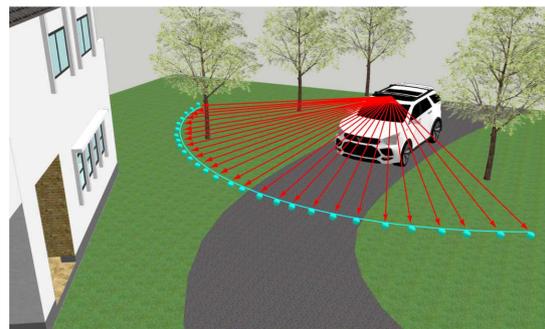


図4 MMS車両による三次元計測の概念図



図5 MMS計測データを用いた見通し判定手法の概念図

(3)「総合評価」手法の構築を行った。まず関係者でブレインストーミングを行い、未整備道路の課題の整理を行った。具体的には、本研究メンバー（研究代表者、研究分担者、連携研究者）のほか、高知県道路課課員、岐阜大学学生、交通コンサルタント(株)ニュージェックが参加し、計2回行った。なおニュージェック社は交通流シミュレータに関する知見・技術を有しており、(1)交通流シミュレータとの関連を考慮し、参画を頂いた。KJ法を活用し議論を行った結果、抽出された課題は、「事故」、「災害」、「管理・工事・コスト」、「ハードウェアの課題」、「見通し」、「疲労・ストレス」、「観光・地域イメージ」、「走りやすさ」、「社会的な側面」の9つの項目に整理できた。走行時における快適性・安全性の課題において、道路の物理条件から生じる問題点として、「見通し」に関する指摘が多かった。急なカーブや植生による影響で先が見通せず対向車両が確認できないことが大きな問題といえる。「見通し」の影響や道路の状況によって、「疲労・ストレス」が大きくなり、結果として「走りにくい」道路となると考えられる。また、「疲労・ストレス」は事故の危険性模造題させると考えられる。さらに、加減速を繰り返すことにもなり、時間ロスや燃費のロスも増えていくといえるだろう。これらが、道路を利用するドライバーの視点でみた未整備道路における課題といえる。一方で、沿線住民については、より脆弱な道路の利用を余儀なくされていることによる影響も無視できない。すなわち、「道路の物理条件」、あるいは周辺地山の条件により、「管理費用」がかさみ、「災害の危険性」が大きいため、その道路に依存した生活に関する質、すなわち「QOL」が低くなっているといえるだろう。以上のように、道路の物理条件に起因する未整備道路の課題について整理することができた。次に重要なことは、道路の物理条件によるこれら未整備道路の課題に関する発現度を測ることと、課題間の

相対的な重みを推定することとなる。本研究の最終目標は、中山間道路走行支援システムを含む1.5車線の整備により変化し観測できる指標値（例えば、幅員、回転半径、視距など）の変化によって、事故危険性などをはじめとした利用者の意識がどのように変化し、最終的にそれがどの程度の便益を生じさせるかを定量的に把握することである。そのために、図6に示した未整備道路の課題を参考に、図7のようにブレインストーミングを適用した結果整理された観測可能な物理量とそれに基づく道路利用時の印象、そしてその結果構築される利用者意識の関係を示す。なお、本研究では、分析フレームワークとして共分散構造分析を適用することを前提とし因果関係を整理している。図中の灰色四角形が観測可能な物理量を示し、丸長方形が利用者意識を、楕円が観測不可能な内生変数を示している。このモデルを用いて便益の定量的評価につなげるためには、利用者の意識によって構成される効用を定量的に把握する必要がある。ここでの仮定は、定量化された6つの内生変数により当該道路の評価が構築され、その道路の選好が決まるとする。(図8)このような構造を仮定することで、図7に示した利用者意識を反映したパラメータ推定をまず行い、その結果得られたパラメータを用いて外生変数と当該道路の選好を関連づけることが可能である。ただし、図8の赤線の重みについての推定も行う必要がある。パラメータ推定のため、道路利用者及び地域住民に対するアンケート調査を実施した。頁制約の都合上、調査方法等については省略する。得られたデータを用い、共分散構造分析を実施した。なお、モデル同定においては、変数間の様々な接続を試し、最もあてはまりがよいものを推定結果としている。図9が重み推定結果である。左側の長方形がインプットデータである顕在変数、中央の楕円が潜在変数で、右にアンケート調査で質問した8項目のイメージを示している。なお、左側のインプットデータの値については、計算時には平均0、分散1に正規化したデータを用いている。矢印が因果関係を表しており、赤い矢印が1%基準で、青い矢印が10%基準で統計的に有意と判定された関係である。また、モデル適合度を表すGFIおよびAGFIはそれぞれ0.9872、0.9735であった。これらの値は、少なくとも0.9以上である必要があり、0.99を超えれば適合度の高い推定といわれている。今回は0.99には及ばないものの、まずまずの推定結果である。このパラメータ推定値を用いて、中山間地域の道路整備効果について、定量化を試みる。図9の左側に列挙した観測可能物理量が増えることによって、「疲労・ストレス」、「事故危険性」、「走りやすさ」、「走行コスト」、「災害危険性」の

5つの内生変数の値が変化する。すなわち、この5つが心理的イメージと捉えられる。一方で、これらの値が異なることによる道路の選好については、上記の重み推定結果のみでは議論できない。そのため、ウェブアンケート調査では、2つのビデオを同時にみせ、その差を理解させながら、一方の路線が30分で目的地に到達可能である場合の他方の路線での許容可能な走行時間について質問している。このデータを活用することで、5つの内生変数で構成される利用者意識のレベルの違いについて、分単位にて表現することが可能となっている。整備による潜在変数の変化と定量化可能な所要時間を結びつけるために、重回帰分析を行った。ビデオごとの潜在変数値の差を説明変数、等価な所要時間の差を非説明変数として、重回帰モデルによる推定を行った。なお図9からもわかるように、潜在変数間に相関を許しているため、潜在変数間の組み合わせによっては、強い重共線性が生じモデル推定ができなかった。そのため、いくつかの潜在変数を除去して推定を行った。さらに評価に際して、個人の評価の差が大きかったため、個人ごとの差異を考慮するためのダミー変数も併せて導入した。その結果、以下のような計算式が得られた。なお、数式下の括弧内にt値を示している。

$$t_{diff} = -163.00\eta_2 - 18.48\eta_4 + 35.26\eta_5$$

(-16.172) (-8.269) (5.005)

なお、 η は潜在変数を表しており、潜在変数2は、「事故危険性」、潜在変数4は、「走行コスト」、潜在変数5は、「災害危険性」である。「災害危険性」について、正の推定値、すなわち災害に対する不安に対して正の影響となっているが、おそらく他の潜在変数との相関によりこのような値となっていると推察される。 R^2 値は0.418とあまり大きくなかったが、F検定の結果、このモデルの有意性は確認されたため、これを用いて検討を進めることとする。定量化の結果、「潜在変数」の列で示された値が変化する。例えば、カーブミラーの設置に関しては、「走行コスト」以外の項がそれぞれ減少していることがわかる。比較的減少量が大きいのが「災害危険性」に関する意識であった。整備を行わないベースケースでは、所要時間は、71.261分になるのに対して、ガードレールを設置したケースにおける等価な所要時間は74.316分となり、3.055分(4.3%)だけ所要時間が増加する。従って、ガードレールの設置効果は、所要時間に対して4.3%分の増加と考えることができるだろう。その他の施策についても、同様に計算していったが、もっとも効果が大きいのが、突角是正であった。突角是正は、大規模な工事であり、なおかつ今回の計算では、待避所間隔、見通し、幅員が是正されるとし

ているため、結果として22.9%の所要時間改善効果と同等であることが明らかとなった。また中山間道路走行支援システムの導入効果が17.1%と計算されたのは興味深い。ここ

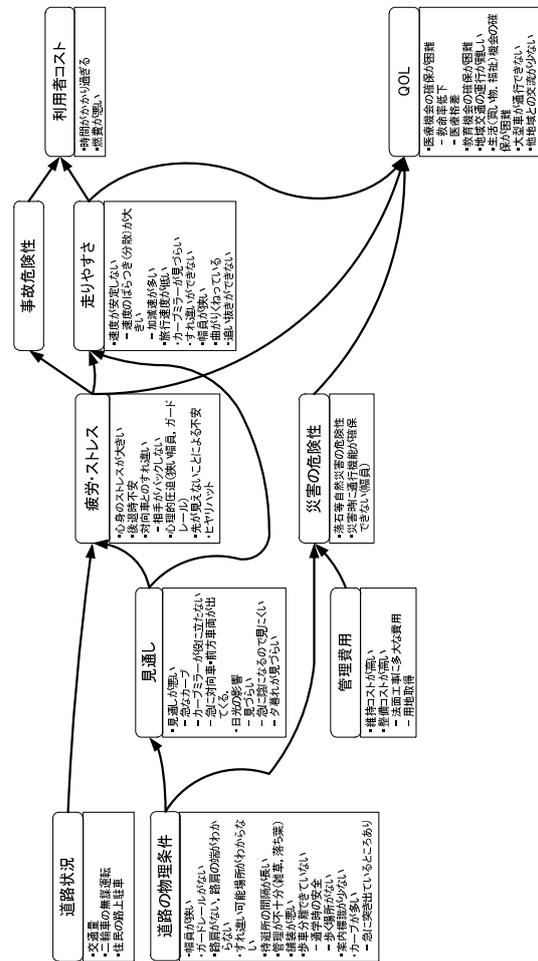


図6 未整備道路の課題整理

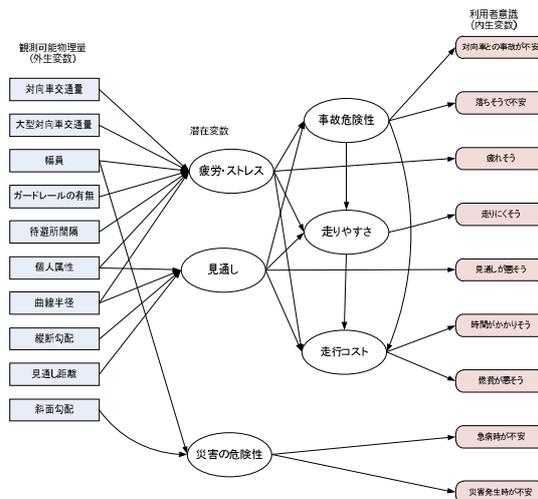


図7 共分散構造の仮定

での仮定に依存している結果であるが、その他の道路整備に対しても十分効果的であることがこの結果からも示されたといえる。

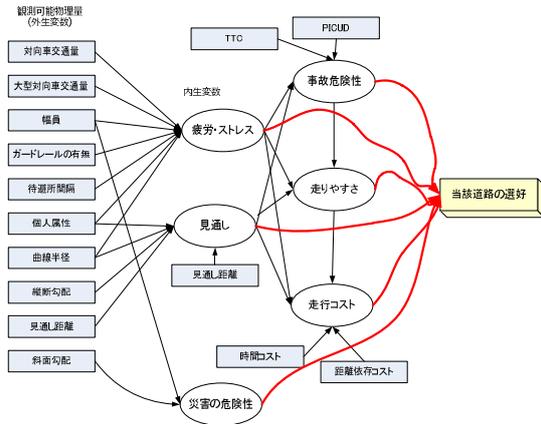


図 8 当該道路の選好構造

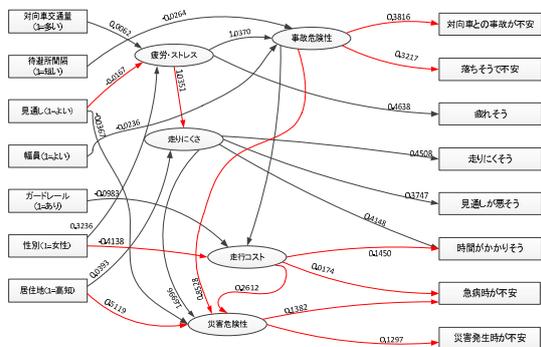


図 9 共分散構造分析による重み推定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

1. Hiroshi NOMURA and Masataka TAKAGI, Landform Change Detection using Satellite Remote Sensing, Internet Journal of Society for Social Management Systems, 査読有、SMS11-3638、2011、
2. 高木方隆、國友達也、小島光博、石田圭佑、高分解能衛星画像のためのベクトル図形基準点のポインティング精度の検証、写真測量とリモートセンシング、査読有、Vol. 49, No. 6、2010、381~386
3. 廣川和希、倉内文孝、熊谷靖彦、片岡源宗、中山間地域の狭隘区間を含む道路における走行速度要因に関する分析、第 30 回交通工学研究発表会論文集、査読有、CD-ROM、2010、

〔学会発表〕 (計 7 件)

1. 堤悠介、倉内文孝、廣川和希、片岡源宗、熊谷靖彦、走りやすさを考慮した中山間

道路走行支援システムの評価方法の検討、土木計画学研究講演集、査読無、Vol. 43、CD-ROM、2011 年 5 月 28 日、筑波大学

2. Masataka TAKAGI、Change Detection of Digital Surface Model by ALOS PRISM、ALOS Symposium、2010 年 11 月 15 日、大手町サンケイプラザ
3. 熊谷靖彦、草の根 ITS と関連する技術、第 53 回自動制御連合講演会、査読無、CD-ROM、2010 年 11 月 5 日、高知城ホール
4. 永原三博、筒井啓造、岡宏一、熊谷靖彦、地域 ITS への無線通信技術の適用、第 53 回自動制御連合講演会、査読無、CD-ROM、2010 年 11 月 5 日、高知城ホール
5. Kyaw Sann OO、Masataka TAKAGI、Verification of Image Control Points、Proceedings of the 31th Asian Conference on Remote Sensing、2010 年 10 月 3 日、Hanoi
6. Ishida・K、Kojima・M、Takagi・M、CHANGE DETECTION OF SURFACE ELEVATION BY ALOS / PRISM FOR DISASTER MONITORING、ISPRS Technical Commission VIII Symposium、2010 年 8 月 11 日、京都
7. 廣川和希、倉内文孝、熊谷靖彦、片岡源宗、中山間地域における狭隘区間を含む道路の走行実態分析、土木学会中部支部平成 21 年度支部研究発表会、査読無、CD-ROM、2010 年 3 月 1 日、金沢工業大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊谷 靖彦 (KUMAGAI YASUHIKO)
高知工科大学・地域連携機構・教授
研究者番号：10368855

(2) 研究分担者

高木 方隆 (TAKAGI MASATAKA)
高知工科大学・工学部・教授
研究者番号：50251468
倉内 文孝 (KURAUCHI FUMITAKA)
岐阜大学・工学部・准教授
研究者番号：10263104

(3) 連携研究者

北川 博巳 (KITAGAWA HIROMI)
兵庫県立福祉のまちづくり研究所・課長
研究者番号：10257967
岡村 健志 (OKAMURA KENJI)
高知工科大学・地域連携機構・助教
研究者番号：80368860
片岡 源宗 (KATAOKA MOTOMUNE)
高知工科大学・地域連携機構・助手
研究者番号：20412447
永原 三博 (NAGAHARA MITSUHIRO)
高知工科大学・地域連携機構・助手
研究者番号：80461383