

I-17 3次元描画モジュールによる道路線形の検討

3-dimensional drawing module for highway simulation

蒔苗 耕司*

Koji MAKANAE

【抄録】

道路線形の評価においては、運転者の視点から視覚的にどのように見えるかという評価が必要である。本研究では、ステレオグラフィックスによる3次元描画モジュールを作成した。このモジュールを道路線形の視覚的評価に適用することにより、時間的要素を加えた4次元的道路線形の評価が可能である。

【Abstract】

In the case of designing a highway alignment, it is required to assess it by driver's eye. In this study, 3-dimensional drawing module using stereo-graphics was developed. Applying this module to assessment of a highway alignment, 4-dimensional expression considering time element can be realized.

【キーワード】道路線形, CG, バーチャルリアリティ, CAD

【Key Words】highway alignment, CG, virtual reality, CAD

1. はじめに

道路線形の評価については、設計された道路線形が立体的にどのように見えるかという評価が必要であり、その評価手法として透視図が有効である¹⁾。より運転者の視点にたった評価を行うためには、走行する速度に応じて視覚的にどのように感じられるかという評価も重要である。これらの評価を行うにあたってCG (computer graphics) を利用した走行シミュレーションが有効である。これらの手法にステレオグラフィックスの技術を取り入れることによって、道路線形評価技術の高度化が実現される可能性がある。そこで本論文では筆者らが開発した3次元道路線計画システム²⁾の拡張モジュールとして、ステレオグラフィックス技術を利用した道路線形の3次元描画モジュールを作成し、道路線形の評価技術としての適用を試みる。

2. ステレオグラフィックス適用の意義

人間の立体認識の要因は、生理的要因、心理的要因、視覚外要因に分けられ、その生理的要因のうち、最も重要であるのが両眼視差によるものであると考えられている³⁾。この機能を利用し、左右の目に対してあらかじめ作成した視差をもった画像を強制的に与えれば、その立体像としての復元が可能となる。このような技術は写真測量技術には古くから用いられている。CG技術を利用すれば、コンピュータ上に仮想的に構築した物体に対する透視図を描くことが可能である。したがって、2つの視点位置から透視図を生成し、それを左右それぞれの目に対して与えることによって仮想物体の立体像が復元される。一方、人間が1枚の画像から立体を認識することができるのは、透視図に描かれる物体の大小、高低、重なり、きめの粗密などの幾何学的要因、また陰影などの光学的要因などの心理的要因によるものであ

* 宮城大学事業構想学部デザイン情報学科

〒981-32 宮城県黒川郡大和町学苑 1-1 TEL 022-377-8368 FAX:022-377-8390 E-mail:makanae@mail.sp.myu.ac.jp

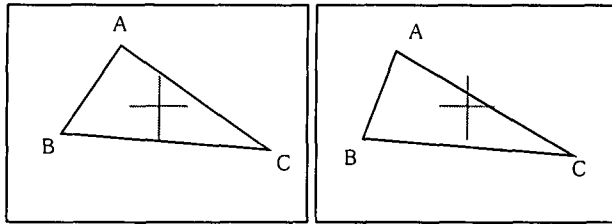


図-1 線画による立体透視図の例

る³⁾。そのため、単画像からの立体認識を実現しようとする場合には、これらの要因を含む画像である必要がある。しかしステレオグラフィックスを利用すれば、線あるいは点として描かれた情報からの立体認識が可能となる。例えば、図-1を単画像としてみた場合には、単なる平面的な三角形としてしか捉えることができないが、立体視をすることによって、頂点Aが手前方向に傾いた三角形であることが認識できる。このようにステレオグラフィックスによれば、単画像としてのCGに比べ、より少ない情報からより正確な立体認識を実現することが可能である。このことは、画像計算における負荷の軽減という利点も有する。

道路線形の視覚的評価の手法として、ステレオグラフィックスを適用することにより、より忠実に道路線形の立体形状についての認識が可能となる。また時間的要素を取り入れた4次元線形としての道路線形評価にあたって、CGによる走行シミュレーションは有効な手法である。この手法にステレオグラフィックスの技術を適用することによって、連続した道路線形と速度との関係をよりリアルに感じることが可能となり、道路線形評価の高度化が期待できる。

なお本論文においては、ステレオグラフィックスによる透視図を3D透視図、走行シミュレーションを3D走行シミュレーションと呼ぶこととする。

3. 3次元描画モジュールの開発

3-1 基本フロー

筆者らが開発した3次元路線計画システムは、ステレオペアの航空写真の立体視によって再現される仮想地形面に対し、CGを利用し、3次元的に路線計画を行うシステムである。このシステム上において、設定された3次元道路線形をもとにした単画像としての透視図の描画を実現している。3次元描画モジ

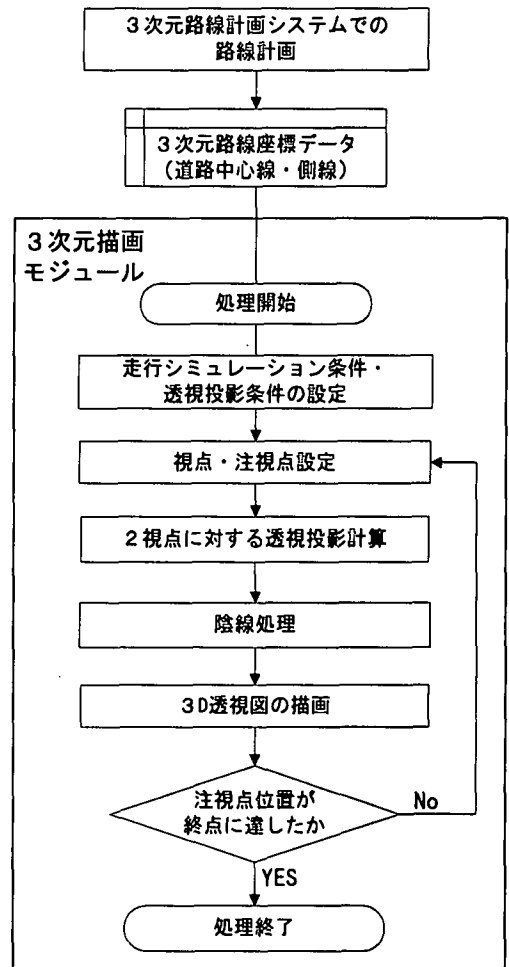


図-2 3次元描画モジュール基本フロー

ジュールは、3D走行シミュレーションをリアルタイムで可能とすることにより、より高度な道路線形評価を実現しようとするものである。

本モジュールの基本フローを、図-2に示す。

なお3次元路線計画システム及び本モジュールは、Microsoft Visual Basic 4.0をベースとして開発を行っており、一般的なパーソナルコンピュータ上において稼動するシステムである。

3-2 3次元描画モジュールの構築

(1) 3次元形状モデルの作成

3次元路線計画システム上において設定される3次元道路線形は、マークポイントを制御点とするスプライン関数によって定義されている。路線設定段階において、透視図作成のために、道路中心線及び道路幅員左右の側線における3次元座標データ点列が内部配列に格納されている。したがって、この内

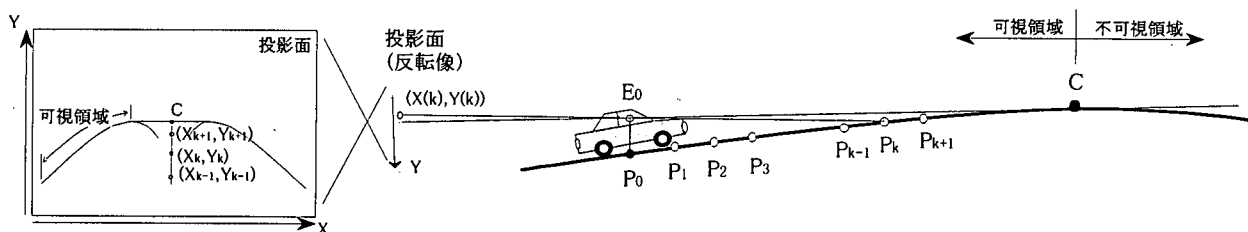


図-3 陰線処理の模式図

部配列に対し直接的にアクセスする。ただしここでは路面の横断勾配については考慮していない。

(2) 透視投影計算及び画面への描画

ステレオグラフィックスによる3D透視図を作成するために、2つの視点位置及び1つの注視点を設定する必要がある。人間の目の視点間隔は一般的には約6.5cm程度であるといわれているが、この視点間隔によって立体感が明瞭な距離は30m程度である。ローレンツ⁴⁾は、約1mの視点間隔をもった透視図から十分な立体感を得られると述べている。そこで、ここでは視点間隔を1mとして設定する。

視点及び注視点の高さは、道路構造令の視距算定基準に従い、それぞれ道路中心線上高さ1.2m、0.1mの位置とする⁵⁾。視点と注視点との距離は、この道路構造令における視距を適用する。

上記の設定条件に基づき、3次元道路形状に対して、2つの視点位置からの透視投影計算を行い、投影面となるウィンドウ座標系での座標値を求める。

透視投影によって得られたステレオペアの画像を、コンピューターディスプレイ上に表示し、これを立体眼鏡を用いて立体画像を得る。なお立体眼鏡としては、凹レンズをもつ簡易な立体眼鏡あるいは液晶シャッターを有する立体眼鏡に対応している。なお画像サイズを小さくすれば、コンピューターディスプレイ上での肉眼立体視も可能となるが、画素数の制約を受けることから、遠方の立体再現性に劣る。

(3) 陰線処理アルゴリズム

陰線処理には、さまざまなアルゴリズムがあるが⁶⁾、その計算負荷が大きく、リアルタイムでの走行シミュレーションを行う場合に描画速度の低下を招く。そこで高速な描画を実現するために、次のような方法により陰線処理を行う。

図-3に示すように、道路中心線の座標点列を P_k

(k は整数)として表わし、また P_k 上にある視点位置を E_k とする。なお、ここでは視点高さは(2)で述べたように P_0 上高さ1.2mの位置にある。現在の視点位置が P_0 上の視点 E_0 にあるとすると、道路線形の可視領域は、点 E_0 を通過する直線と道路線形との接点 C までの区間となる。

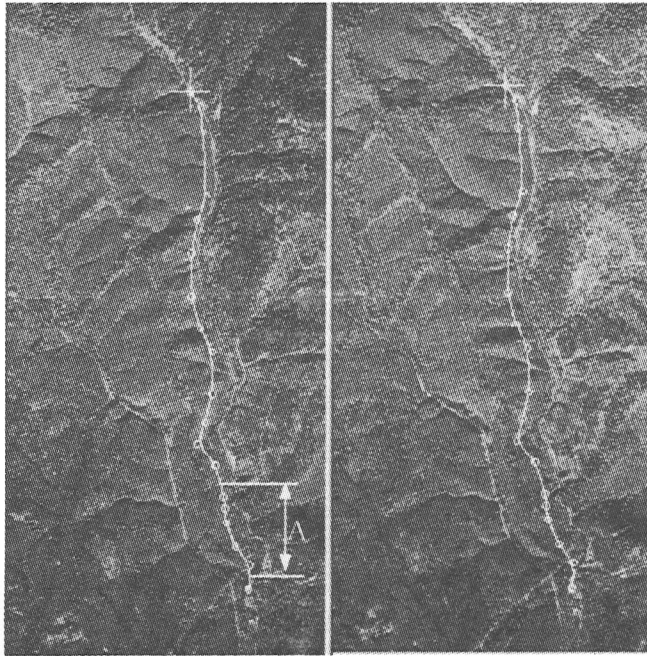
ここで視点 E_0 に対する透視投影像を考える。投影面の座標系について、横軸を X 軸、縦軸を Y 軸とする。道路中心線上の点 P_k の投影面上の座標値を (X_k, Y_k) として表わす。視点側から注視点方向に投影面上の座標値を求めていくとすると、道路中心線上の点 P_k が視点位置から連続して可視領域にある場合には、その投影面上の座標は $Y_k > Y_{k-1}$ で連続する。しかし C 点を越えて不可視領域に達した場合において、 $Y_k < Y_{k-1}$ となる。道路線形に凹凸がある場合、凹部において不可視となった道路線形が、再び直線 E_0C の延長線より上位にきた場合に再び可視となる。 E_0 点に対する投影座標の Y 値は、それまでの計算過程における Y の最大値 Y_{max} と近似できるから、 $Y_k > Y_{max}$ となる場合に再び可視になるとみなすことができる。

このような特性を利用すれば、道路中心線に対する投影面上の Y 座標値を求める計算のみで、可視・不可視を判断することができる。不可視と判断された場合には透視変換・描画を行わなくてもよく、陰線処理を行わない場合に比べてもより高速な描画が可能となる。

(4) 道路線形の視距確認への応用

道路線形設計においては、設計速度に対する視距が確保されているか否かの評価が極めて重要である。特に道路線形のクレストとなる区間においては、その平面線形と縦断線形との関係により十分な視距が確保できない場合も生じる。このようなチェックを行うために、運転者の位置からの道路線形の可視域

1) 立体線形図(立体図)



(航空写真：国土地理院 CHO-77-39 C5A-16~17)

2) 縦断線形図・縦断勾配図

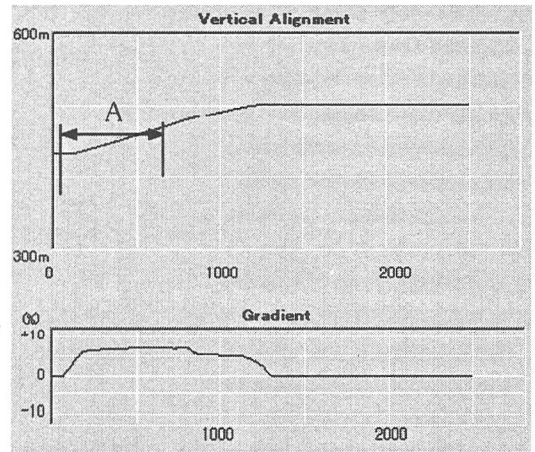


図-4 適用事例の道路線形²⁾

図中区間 A が図-5 に示す走行シミュレーションによる連続画像の範囲である。

判定が必要となる。(3)に述べた陰線処理アルゴリズムを応用すれば、その道路線形において設計速度に応じた視距が確保されているかどうかを確認することが可能である。

視距は、道路中心線上の高さ 0.1m の位置にある物体が連続的に視認できる区間の距離をいうものである。道路中心線上の点 P_k が可視であれば、その直上 0.1m の高さにある視距測定対象物も可視である。しかし道路中心線のクレスト区間においては、点 C を越えて道路中心線上の点 P_k が不可視となっても、0.1m の高さにある視距測定対象物は可視である場合がある。そこで点 C より先での視距確認にあたっては、視距測定対象物の投影座標上における Y 値と Y_{max} とを比較し、Y 値が Y_{max} より大きい場合には視距が確保されていると判断すればよい。なお本モジュール上においては、視距が確保されている場合には、3D 透視図上に視距測定対象物の位置を示す青色のクロスマークが表示されるようにした。

(5) 3D 走行シミュレーション

3D 走行シミュレーションは、視点位置及び注視点位置を走行速度に応じて移動させ、連続的に画像計算することによって可能である。描画間隔時間はコンピューターの処理速度の制約を受けることから、それに従って視点移動するように設定する必要がある。

ある。本モジュールにおける速度設定においては、アニメーション 1 フレームあたりの移動距離をあらかじめ 2.5m 間隔として設定し、速度に応じて設定したタイマーにより、描画の更新を繰り返すようにしている。また透視図として描く道路延長を限定することによって、描画速度の向上を図っている。

4. 適用事例

ここでは、3次元路線計画システムにおいて設定した道路線形(図-4) 2)に対して本モジュールを適用し、その視覚的評価を行なった。なお図-4に示す道路線形は、航空写真の立体視をもとに、地形と調和するよう設定されたものである。

ここで設計速度は、60km/h と設定する。したがって、必要な視距は道路構造令によれば 75m である。この値を視点と注視点との間の道路線形に沿った距離とする。道路幅員は 7m とし、距離感を示すために、破線の車道中心線(幅 15cm, 5m : 5m)の路面標示を描画している。アニメーション 1 フレームあたりの移動距離を 2.5m と設定しているから、速度 60km/h では 0.15 秒間隔での描画が必要となる。

設定した道路線形に対する 3D 走行シミュレーション画面の一部を連続的に表示したのが図-5 である。

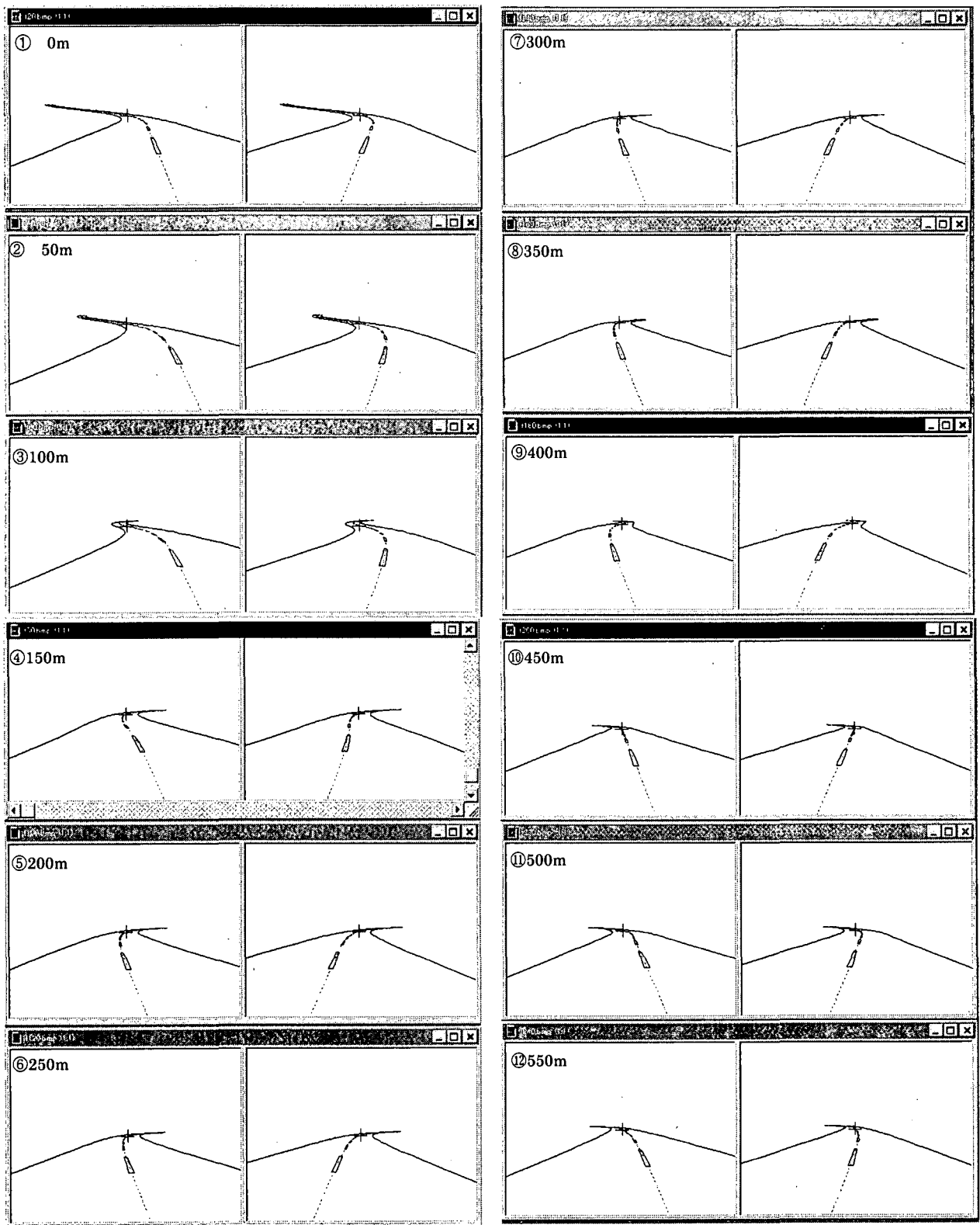


図- 5 3D 走行シミュレーションによる連続画像

これらの画像を立体視することによって、道路線形の3次元形状としての認識が可能である。走行シミュレーションとしてアニメーション表示した場合には、静止画としてみる場合に比べ、距離感の変化による速度感が感覚的に得られる。また単画像としての走行シミュレーションに比べ勾配の変化を感じやすい。なお設定された路線に対し視距の確認も同時に行なったが、道路線形自体の視距は確保されていることが容易に明らかとなった。

図-6には、視距の確認事例を示す。図-6(a)に設定された道路の縦断線形と3D透視図を示すが、視距測定対象物を示すクロスマークが表示されておらず、視距が確保されていないことを示している。そこで縦断線形のクレスト区間について、視距が確保されるよう道路線形を修正した。その結果を図-6(b)に示すが、3D透視図中に視距測定対象物の位置がクロスマークとして表示されており、視距が確保される

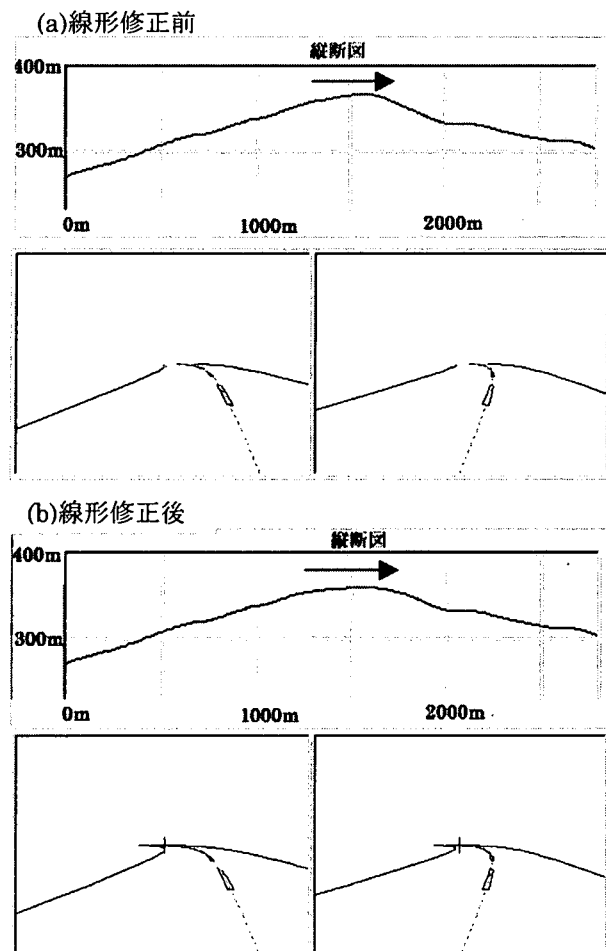


図-6 視距の修正事例

→: 視線方向及び線形修正区間

よう修正されたことがわかる。

5. むすび

本論文では、路線計画システムと連動した道路線形の3次元描画モジュールを作成することによって、路線計画とその線形評価とのリアルタイム化を実現した。3D走行シミュレーションによって再現される立体感と速度感は、時間的要素を加えた4次元道路線形の評価にあたっては有効な手法となるものと思われる。

バーチャルリアリティの実現にあたっては、一般的にヘッドマウントディスプレイ等の専用機器が必要であると考えられており、その実用化が十分に進んでいない⁷⁾。しかし本論文で用いたような簡易な手法によっても、その実現は可能である。このような手法をCADの要素技術として取り入れることによって、3次元設計及び評価ツールとしての活用が期待される。

なお本研究は、運転者視点による道路線形の3次元連続画像化に限定したものであったが、実際の自動車走行においては、道路周辺の景観が自動車運転者に与える視覚的な影響を無視することはできない。そこで今後の研究においては周辺景観の画像化についても考慮したものとしていきたい。

謝辞：本論文の作成にあたって、東北大学大学院情報科学研究科の福田 正教授には有益な意見をいただいた。ここであらためて謝意を表す。

参考文献

- 1)大塚勝美・木倉正美：道路の線形設計，技術書院，1971.
- 2)蒔苗 耕司・福田 正：航空写真とCGを用いた3次元路線計画システム，（土木学会論文集IV投稿中）.
- 3)安居院猛・中嶋正之：ステレオグラフィックス&ホログラフィ ザ3D (THE THREE DIMENSIONS)，秋葉出版，pp23-34，1985.
- 4)ローレンツ,H (中村英夫・中村良夫訳)：道路の線形と環境設計，鹿島出版会，pp145-171，1970.
- 5)社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用，日本道路協会，pp252-264，1983.
- 6)佐藤義雄：実習グラフィックス，pp51-139，アスキー出版局，1986.
- 7)蒔苗耕司・千葉洋一郎・八木貞幸：土木分野におけるVR技術適用の可能性，パンフィックコンサルタンツ株式会社総合研究所報告，No.3，pp33-38，1995.