

機関番号：32714

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20500116

研究課題名（和文）人工的運動視差により誘起される新しい立体知覚とその3次元表示への応用に関する研究

研究課題名（英文）New depth perception induced by Artificially Generated Motion Parallax and its application to 3-D display

研究代表者

上平 員丈（UEHIRA KAZUTAKE）

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：50339892

研究成果の概要（和文）：

本研究では、人工的に生成した運動視差によって表示対象を数十m～数百mの遠方に観察者に知覚させ、かつ知覚される奥行きを制御できる従来にはない新しい3次元表示技術を提案し、実際に走行する自動車を用いた主観評価実験により提案技術の実現性を確認するとともに、本技術を将来カーナビゲーションへ応用する際に光学系を車載装置として実用的なサイズで実現できることなどを示し、その実用性についても実証した。

研究成果の概要（英文）：

We studied a new 3-D display technique that can express the difference between depths at distances of more than tens or hundreds of meters. We used artificially generated motion parallax to achieve this technique. We confirmed its feasibility from the subjective test demonstrating that it works as expected using a moving car. Moreover, we demonstrated that its optical system can be built in at practical size in the car navigation application.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：画像工学

科研費の分科・細目：ヒューマンインタフェース

キーワード：奥行き知覚、運動視差、立体視、3次元ディスプレイ、カーナビゲーション

## 1. 研究開始当初の背景

3次元映像は空間や対象物をよりリアルに表現できるため、人間にとって自然なユーザインタフェースを実現できる次世代メディアとして期待される。3次元映像を単なる観賞用ではなくユーザインタフェースとして用いる場合は、ユーザによる表示対象までの

奥行き知覚が重要となる。

一方、近年、ITS (Intelligent Transport Systems) やユビキタスなどの分野をはじめとし屋外で3次元映像を利用する機会が増えている。屋外利用においては数十m以上の遠距離における奥行きの差異を表現できることが要求条件となる場合も多い。特に移動体

への応用などにおいてこの条件は重要である。しかし、従来の3次元表示技術では高々数m先までの近距離範囲においてしか表示対象の奥行きの違いを表現できなかった。これは、従来の3次元表示技術は立体視の生理的要因のうち両眼視差と輻輳と呼ばれる要因のみを用いて対象までの奥行きを観察者に知覚させるためである。最近、自然な立体視を目指し、ピントも立体視の生理的要因として用いる方法が研究されているが、ピントが奥行き知覚に作用する範囲も高々数mまでである。したがって、今後、3次元映像の屋外利用を広める上で数十m以上の遠距離で奥行き知覚を可能とする3次元表示技術の開発が不可欠となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が提案した人工的に生成した運動視差によって表示対象を数十メートル以上の遠距離に知覚させる技術の実現性を示すとともに、さらにカーナビゲーションへの応用を想定して、制御性や実現サイズなどの評価により本技術の実用性を実証することを目的とした。特に、本研究補助金交付期間においては、下記項目を明らかにすることを目的とした。

(1) 人工的運動視差により視覚系に遠距離における奥行き知覚が誘起されることを実証するとともに、知覚される奥行きが制御可能であることを示す。

(2) 本技術による3次元表示のように運動視差と両眼視差などの他の奥行き知覚の要因が与える奥行きが一致しない場合、表示対象の奥行き知覚に対してどの要因が支配的となるかを明らかにし、さらにこれより、このような状況での奥行き知覚のモデルを構築する。

(3) 人工的運動視差により視覚系に遠距離における奥行き知覚が誘起される条件、および実際の像位置の範囲を明らかにする。

(4) 移動中に獲得した奥行き知覚が静止した場合にも作用し続けるかを明らかにする。

(5) 以上の結果を踏まえ、カーナビゲーションへの応用の可能性を明確にする。

## 3. 研究の方法

本研究では、自動車などの移動体への応用を想定し、前方に見える表示対象に近づいていくときの、表示対象に対する奥行き知覚を研究対象とし、これを主観評価実験により評価した。主観評価実験では、被験者を自動車に搭乗させて、人工的に生成された運動視差を有する表示対象としてのテストパターンをフロントガラスの前方の実際の風景中に見えるように被験者に提示して、被験者が知覚するテストパターンの奥行きを測定した。

図1に主観評価実験において被験者にテ

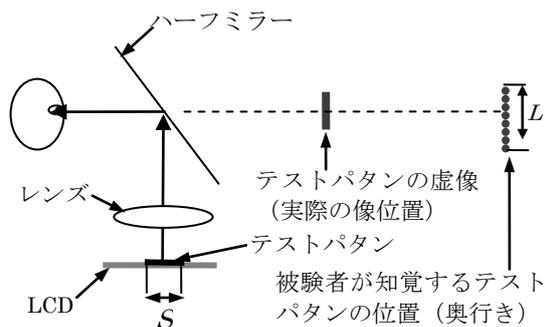


図1 主観評価実験に使用した光学系

表1 ディスプレイ各部の仕様

ハーフミラー	サイズ: 20cm x 20cm
凸レンズ	直径: 10cm 焦点距離: 50cm
LCD	サイズ: 7インチ 画素数: 800x400

ストパターンを提示するために使用した光学系の構成を示す。カーナビゲーションの応用においては、HUD(Head-up Display)として利用されることを想定し、本ディスプレイでは、液晶パネルに表示される画像がレンズとハーフミラーにより前方2m~10mの位置に虚像として実際の風景に重畳されて観察されるように光学系を構成した。このディスプレイを助手席の上に置き、被験者は後部座席に座ってハーフミラーを通してテストパターンを自動車のフロントガラスの前方に観察した。表1にディスプレイに用いた部品の仕様を示す。

テストパターンとして、実際の道路標識と同程度のサイズを想定したパターンを被験者に提示することとし、この想定サイズLを予め設定する。運動視差を生成するため液晶ディスプレイ(LCD)に表示するパターンのサイズS(t)は(1)式にしたがって自動車の走行時間tの経過とともに拡大させる。

$$S(t) = C \frac{L}{D_S - vt} \dots (1)$$

ここで、L、S(t)はテストパターンの横幅を表し高さはそれぞれの半分とする。また、(1)式においてD<sub>S</sub>はt=0における自動車とテストパターンの想定距離、vは自動車の速度、Cは定数である。本研究では、運動視差を網膜上のパターンのサイズの時間変化率と定義し、観察者に奥行きD<sub>S</sub>を知覚させるため、(2)式で与えられる人工的運動視差M<sub>p</sub>(t)を与えた。

$$M_p(t) = \frac{dS}{dt} = CL \frac{v}{(D_S - vt)^2} \dots (2)$$

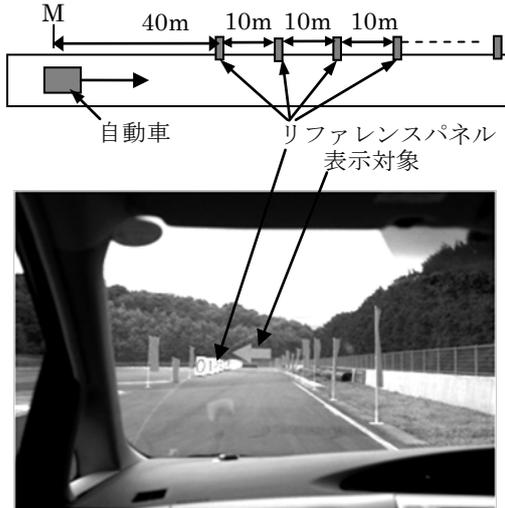


図 2 主観評価実験のレイアウトと被験者に提示した表示対象

(2)式から知覚される奥行き $D_p$ は、

$$D_p = C' \sqrt{\frac{Lv}{M_p}} \dots (3)$$

となる。ただし、 $C'$  は定数である。

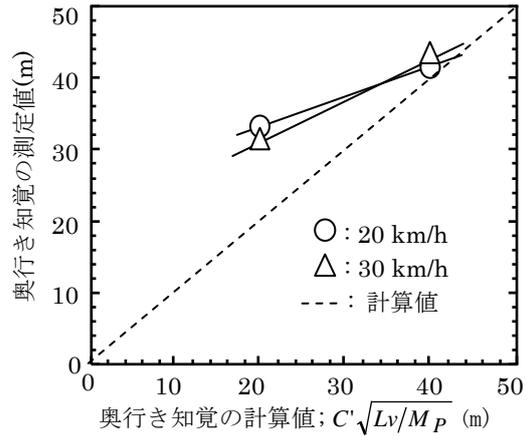
実験は実際に自動車を走行させて実施した。実験に用いた自動車の走行コースのレイアウトの例を図 2 に示す。地点 M まで加速して、地点 M を過ぎると一定速度で走行する。そして、地点 M を通過後 2 秒間テストパターンを表示する。被験者が知覚するパタンの奥行きは、表示されたパターンがコース脇に 10m 間隔で配置されたリファレンスパネルのうちどの番号のパネルに最も近いかを被験者に回答してもらうことで評価した。

#### 4. 研究成果

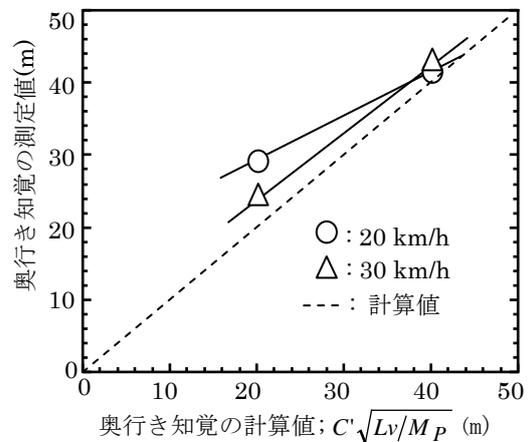
##### (1) 奥行き知覚の人工的運動視差依存性

図 3 に奥行き知覚の人工的運動視差依存性の主観評価実験の結果を示す。図 3(a) は単眼のみにテストパターンを提示した場合、図 3(b) は両眼に提示した場合の結果である。図 3 において、横軸は (3) 式で与えられる人工的運動視差で誘起される奥行き知覚の計算値で、人工的運動視差 $M_p$ の平方根の逆数に比例する。また、図中の点線も奥行き知覚の計算値を示す。縦軸は 5 人の被験者についての測定値の平均値を示す。単眼のみの測定を行ったのは、運動視差は単眼のみでも生じる現象であり、運動視差による奥行き知覚を他の生理的要因による奥行き知覚と切り分けるためである。なお、本実験ではテストパタンの虚像の位置を被験者から 10m 前方の位置に設定した。

図 3 から、実際の像位置は 10m の奥行きにもかかわらず、単眼、両眼いずれの場合も被



(a) 単眼



(b) 両眼

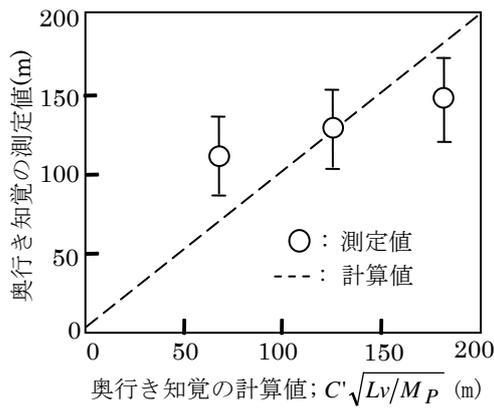
図 3 奥行き知覚の人工的運動視差依存

験者は表示されたテストパタンの位置を約 20m~45m の奥行きに知覚していること、および人工的運動視差 $M_p$ に依存してテストパタンの知覚される奥行きが変化することがわかる。この結果より、本研究で提案した人工的運動視差により遠距離で奥行き知覚を誘起させる本技術について実現性の確認ができた。

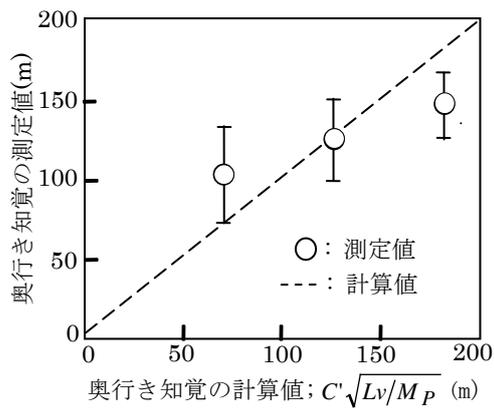
以上の結果から、人間の視覚系に対し、人工的に生成した運動視差によって遠距離における奥行き知覚を誘起させられることを確認でき、さらに知覚される奥行きは人工的運動視差に依存して変化することから、制御可能であることがわかった。ただし、図 3 から明らかなように、測定値の傾きは計算値の傾きより小さく、したがって人工的運動視差への依存性は理論的に期待されるものより小さいことがわかった。

##### (2) 奥行き知覚の支配的要因

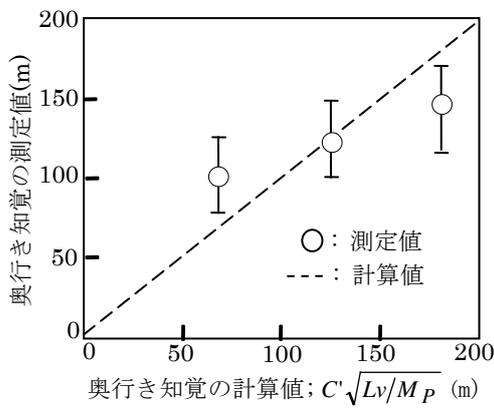
像位置が近距離のとき、人工的運動視差により遠距離に奥行きを知覚させようとすると、運動視差と両眼視差による奥行き知覚が



(a) 像位置までの距離：2m



(b) 像位置までの距離：6m



(c) 像位置までの距離：10m

図4 奥行き知覚の像位置依存性

大きく異なることになる。このように2つまたはそれ以上の複数の奥行き知覚の要因の間に矛盾がある場合において、どの要因が奥行き知覚にとって支配的となるかを調べた。なお、ヘッドアップディスプレイでは、両眼視差、輻輳、調節により知覚される奥行きは実際の像位置と一致する。

図4に主観評価実験の結果を示す。実験では像位置を2m、6mおよび10mとして、表示したテストパタンの奥行き知覚を評価した。自動車の走行速度は60km/hとした。図4から、テストパタンの奥行き知覚は3つの像位

置に対してほとんど変わらず、2mまで近づけても100m以上の遠方にテストパターンを知覚するとわかった。

実物体を観察する場合については、複数の奥行き知覚の要因に間に矛盾はないが、実物体の奥行きが観察者から数mまでの近距離では、両眼視差が奥行き知覚の支配的要素といわれている。しかし、図4に示す結果から、実空間中に表示されたテストパターンに対しては、観察者が運動中の場合、2mといった近距離においても運動視差が奥行き知覚の支配的要素となることがわかった。

### (3) 人工的運動視差により奥行き知覚が誘起される条件および心理的要因の影響

主観評価実験は、自動車の速度を20km/h～80km/hの範囲とし、また像位置を上述のように被験者から2m～10mの距離範囲として実施した。速度は速いほど運動視差の効果は大きいと考えられ、また被験者からの距離が遠距離になるほど運動視差以外の生理的要因の影響は少なくなると考えられるので、結局、実験結果からは、20km/h以上の速度で、2m以上の像位置で人工的運動視差により奥行き知覚が誘起されることを確認できたことになる。

本研究では、観察者が人工的運動視差を与えられている状態において、奥行き知覚に影響を及ぼす心理的要因についても調べた。図5には心理的要因の一例として取り上げたイメージサイズの影響についての主観評価実験結果を示す。図5において、●は表2に示すように想定する奥行き知覚が遠方になるにしたがって想定するテストパタンのサイズ $L$ を小さくした場合、○は想定サイズ $L$ を一定にした場合の測定値を示す。これらの値は8人の被験者の平均値を示す。また、点線は(3)式で与えられる人工的運動視差による奥行き知覚の計算値である。図5から走行速度が40km/hおよび60km/hのいずれの場合も $L$ が一定の場合、すなわち人工的運動視差だけの場合は知覚された奥行きは理論値からずれるが、想定サイズ $L$ を想定奥行き $D_s$ が大きくなるに従って小さくした場合は、理論値に近づくことがわかる。

図5に示す結果から、イメージサイズの効果を組み合わせることにより奥行き知覚の精度が改善できることがわかった。まだ理論値との差が残っているが、 $L$ の変化に対する $D_s$ の変化を大きくすれば人工的運動視差を用いた奥行き知覚の精度をさらに高めることが可能と予想される。

本研究においては、被験者に事前にテストパタンのサイズに関する情報は与えていない。被験者が事前にサイズに関する情報を持っている場合はさらに奥行き知覚の精度は向上すると予想される。

本研究では、心理的要因による影響につい

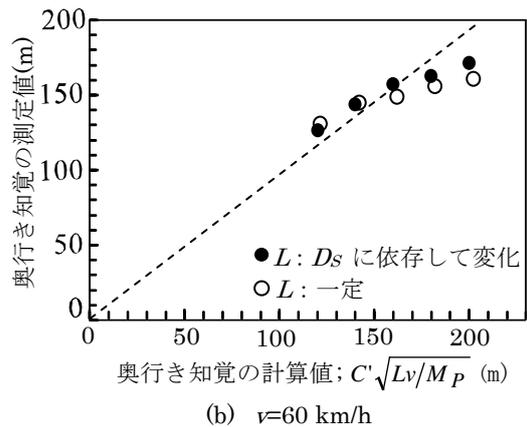
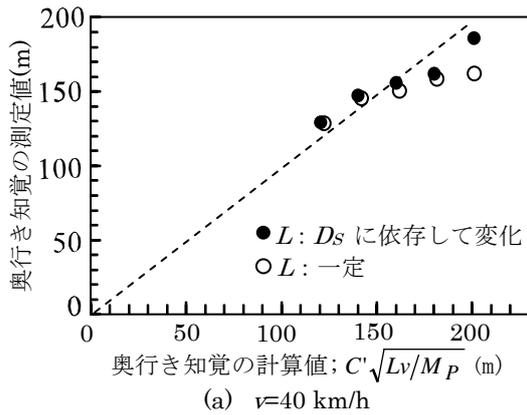


図5 奥行き知覚におけるイメージサイズの影響の主観評価結果

表2 テストパタンの想定サイズ (単位:m)

想定奥行き $D_s$	120	140	160	180	220
想定 サイズ $L$	Test A 3.1	2.9	2.6	2.4	1.9
	Test B	3.1			

て、テストパタンのサイズのほか、表示対象を被験者が日ごろよく見かけそのサイズをよく知っているものをパタン化することにより、奥行き知覚の精度を高められることも主観評価によって確認した。これらの結果から、人工的運動視差に心理的要因を組み合わせることにより奥行き知覚の精度を高められることがわかった。

#### (4) 停止後の奥行き知覚

本技術は運動視差による奥行き知覚を利用するので、静止状態においてはその効果が期待できないが、運動状態から停止した場合、停止後に運動中に生じた効果がどの程度持続されるのかについて明らかにすることは応用上意義が大きい。この持続性について主観評価実験により調べた結果、運動停止直後において人工的運動視差による奥行き知覚は残っているが、効果は運動中の数十%であり、またその後は徐々に減少し1分程度で消

滅することがわかった。

#### (5) カーナビゲーションへの応用の可能性

上記(1)の結果から、本技術によりカーナビゲーション応用で要求される数十m以上の遠方に仮想の道路標識をその知覚位置を制御可能に表示できることがわかった。また、上記(3)の結果は、像位置を運転席の前方2m程度の近距離に設定できることを意味し、現在一部の自動車に搭載されている計器類表示のためのヘッドアップディスプレイは表示像を運転者の前方2m程度の位置に結像しているので、本技術の光学系も車載装置として現実的なサイズで実現可能と思われる。

実用化までには諸課題の解決が必要であるが、以上に示す結果からカーナビゲーションへの応用の可能性は十分あると考えられる。

#### (6) 成果の位置づけ、インパクト、今後の展望

本研究では、人工的に生成した運動視差により表示対象を数十mあるいは百mを超える遠方に表示し、かつ遠方においてその奥行きの違いを表現できる3次元表示の実現性を示した。これは従来にはない3次元表示技術であり、今後、特に屋外での3次元ユーザインタフェースとしてITS、ユビキタス、拡張現実感などの分野において新しい応用を開拓していくものとして期待される。特に、次世代カーナビゲーションなどへの応用が期待でき、今後は応用に向けた諸技術の開発を推進したい。

一方、本研究で得られたデータの解析を進めれば、人工的運動視差による奥行き知覚のモデルが構築できると考えられ、これにより視覚研究分野に新しい知見を提供できることも期待される。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

① K. Uehira, Y. Hanamura and M. Suzuki, 3-D Display Using Artificially Generated Motion Parallax and Psychological Factors of Image Size for Extended-Depth Perception, 2010 SID International Symposium Digest of Technical Papers, 査読有, Vo. 41, 2010, pp. 1227-1229

② K. Uehira and M. Suzuki, Evaluation of Perceived Depth of Image for Navigation Displayed Heads-up 3-D Display Using Simulated View, 2008 Vehicles and Photons Symposium Digest of Technical Papers, 査読有, 2009, pp. 91-94

③ K. Uehira and M. Suzuki, Head-up 3-D Display for Car navigation using Artificially Generated Motion Parallax,

2008 Vehicles and Photons Symposium  
Digest of Technical Papers, 査読有, 2008,  
pp. 75-78

〔学会発表〕(計4件)

- ① 上平員丈、鈴木雅洋、人工的運動視差を用いた遠距離用3Dディスプレイ-イメージサイズの効果、電子情報通信学会電子ディスプレイ研究会、2010年7月23日、東京
- ② 小泉良太、鈴木雅洋、上平員丈、次世代カーナビゲーションシステムにおける仮想道路標識の奥行き知覚：走行後停止時の検討、日本視覚学会2010年冬季大会、2010年1月21日、東京
- ③ 花村義大、鈴木雅洋、上平員丈、次世代カーナビゲーションシステムにおける仮想道路標識の奥行き知覚：模擬する大きさの調整の効果、日本視覚学会2010年冬季大会、2010年1月20日、東京
- ④ 鈴木雅洋、上平員丈、運動視差による奥行き知覚に移動速度が及ぼす影響、日本心理学会第72回大会、2008年9月19日、札幌

〔産業財産権〕

○取得状況(計1件)

名称：ナビゲーションシステム

発明者：上平員丈

権利者：よこはまTLO

種類：特許

番号：特許4476719

取得年月日：2010年3月19日

国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

上平員丈 (UEHIRA KAZUTAKE)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：50339892