

J I E R - 0 5 5

交通視環境の改善に関する研究調査委員会報告書

平成 9 年 3 月

社 団 法 人 照 明 学 会
交通視環境の改善に関する研究調査委員会

目 次

1. はじめに	1
2. 委員会報告	2
2.1 委員会の構成	2
2.2 委員会の活動状況	2
2.3 公開研究会	3
2.4 シンポジウム	3
2.5 研究調査の概要	3
3. 参考資料	6
3.1 連続光と断続光下の接近運動知覚	6
3.2 動態視環境における知覚特性の実験的研究	24
3.3 トンネル入口部における先行車の視認性 (その1)	36
3.4 トンネル入口部における先行車の視認性 (その2)	37
3.5 プロビーム照明の開発	38
3.6 自動車灯火の技術動向	39
3.7 地上信号方式での速度向上に伴う新たな信号現示	45
3.8 海上船舶交通における視環境の現状と海難	51
3.9 中視程時における各航空灯火の角膜照度分布解析	61
4. まとめ	63

1. はじめに

近年、交通環境の高機能化が進む一方で、安全性の確保や事故防止の抜本的対策が要求され、特に、夜間時の交通安全施設の整備が必要とされている。これまでの道路照明や自動車灯火に関する視覚特性や交通信号・標識などの視認性に関する研究は、それらの周囲に何も無い状態で、格別の作業を課すこともなく行われてきた。しかし現実には、信号機や標識の周りにはいろいろなものが設置されている場合が多く、それらが視覚的ノイズとして働くことが考えられている。また、交通信号・標識は運転作業中に見られるために、当該信号が見落とされたり、誤認されたりする。国際照明委員会においても、これらの問題はTC4の各作業部会において、夜間時の視認性や複雑な視対象の中からの当該信号・標識の検出などが取り上げられている。当学会においても、平成2年度から「道路交通における視覚情報研究調査委員会」を設置し、道路照明と交通事故、運転時における情報探索・認知特性、種々の表示システムと視認性などに関して研究調査を行い、平成6年3月に活動報告書を提出し、新たな問題提起を示した。

本研究調査委員会では、これまでの研究調査に加えて、より実場面に近い動的な状態での視覚・認知特性についての研究と、道路交通のみならず広く交通環境全体に対して研究・調査を行った。視覚特性と交通環境に関する研究を詳細に調査・分析し、交通事故の調査結果との対応から、交通環境における視覚情報の有効性を検討した。また、交通環境の高機能化と高齢者に対する整合性やナビゲーションシステムなどの新しい情報表示システムなどの視覚・認知機能についても検討した。

- (研究科工学系) 林 小 同
- (工学部) 本 同
- (工学部) 田 同
- (工学部) 田 同
- (工学部) 前 同
- (工学部) 本 同
- (工学部) 人 同

平成6年3月に活動報告書を提出し、新たな問題提起を示した。

① Automatic Navigation & Computer Vision System (W.R.Utah, Arizona State University)

② 航空機および橋脚等の視覚情報処理の基礎的検討 (東京大学工学部)

2. 委員会報告

2.1 委員会の構成

委員会の構成は以下の通りである。

- 委員長 和気 典二（東京理科大学経営学部）
- 幹事 石川 和夫（東京工芸大学工学部）
- 同 横井 清和（財団法人日本自動車研究所）
- 委員 荒生 薫（岡山県立大学デザイン学部）
- 同 一條 隆（東芝ライテック(株)研究所）
- 同 鶴飼 一彦（日本福祉大学情報社会科学部）
- 同 岡林 繁（名城大学都市情報学部）
- 同 北原 健二（東京慈恵会医科大学医学部）
- 同 小林 実（(株)社会システム研究所）
- 同 阪口 敏彦（松下電工(株)）
- 同 菅野理樹夫（千葉大学）
- 同 武内 徹二（松下電器産業(株)）
- 同 行田 尚義（鹿児島大学工学部）
- 同 成定 康平（中京大学文学部）
- 同 野間 聖明（日本宇宙航空環境医学学会評議員）
- 同 橋本 進
- 同 畑田 豊彦（東京工芸大学工学部）
- 同 堀野 定雄（神奈川大学工学部）
- 同 三浦 利章（大阪大学人間科学部）
- 同 水本 清（航空医学実験隊）
- 同 望月 正人（(株)いすゞ中央研究所）

2.2 委員会の活動状況

平成6年7月から平成9年3月までの活動期間中に、延べ10回の委員会と公開研究会および眼光学学会との協賛でシンポジウムをそれぞれ1回開催した。委員会の主な活動内容は、①交通と視覚特性、②交通環境、③交通照明、④交通信号・標識などに関する講演と調査報告に対して検討を行った。

主な講演題目を以下に示した。

◎講演

- ① Automatic Navigation & Computer Vision System (W.R.Uttal、Arizona State University)
- ② 航空機乗員および海技従事者の身体検査基準（北原健二、東京慈恵会医科大学医学部）

- ④ 接近運動対象の視的速度を規定する要因 (相場 覚、放送大学)
- ⑤ 先進安全自動車 (ASV) の概要 (北原 孝、(株)いすゞ中央研究所)
- ⑥ 動態視環境における知覚特性の実験的研究 (菅野里樹夫、千葉大学)
- ⑦ 自動車灯火の技術動向 (横井清和、(財)日本自動車研究所)
- ⑧ トンネル入口での先行車の視認性 (武内徹二、松下電器産業(株))
- ⑨ 車載表示システムの視認性向上に関して (山本 新、(株)豊田中央研究所)
- ⑩ 空港における視覚支援システム (池田紘一、中山昌春、他、東京理科大学)
- ⑪ 鉄道信号の視認性に関する最近の話題 (宇賀神博、(財)鉄道総合技術研究所)
- ⑫ 海上船舶交通における視環境の現状と海難 (古荘雅生、神戸商船大学)

2.3 公開研究会

視覚専門部会と共催で、「安全性を追求した交通環境－高機能化と視覚特性－」のテーマで公開研究会を平成7年3月に慶応大学日吉校舎で開催した。参加者は50名余りで、視覚や照明関係者以外に、道路公団や道路管理関係、自動車メーカーや信号機・標識関係などの学会員以外の参加者が多くあった。照明学会研究会資料 VP-95-5~8 参照。

◎演題と講演者は、下記の通りである。

- ① 「自動車の知能化による安全の実現」 (津川定之、通商産業省機械技術研究所)
- ② 「交通安全と情報提供」 (松村哲男、建設省土木研究所)
- ③ 「運転時の注意の働き方と安全性」 (三浦利章、大阪大学、人間科学部)
- ④ 「夜間運転時における視認性」 (上野精順、大阪工業大学経営工学科)
- ⑤ パネルディスプレイ (司会：和気典二、パネラー：各講演者)

2.4 シンポジウム

平成8年11月に開催された第32回日本眼光学学会において共催で、シンポジウム「色によるコミュニケーション」を開催した。

◎演題と講演者は、下記の通りである。

- ① 「色覚と遺伝」 (北原健二、東京慈恵会医科大学医学部)
- ② 「色覚のメカニズム－カテゴリカル色応答特性－」 (内川恵二、東京工業大学工学部)
- ③ 「脳内疾患における色相分類障害」 (久米川浩一、東京慈恵会医科大学医学部)
- ④ 「色覚異常者の色と形の視認性」 (小櫃敬介、東京理科大学)
- ⑤ 「カテゴリカル色知覚視野の測定」 (瀬川かおり、東京工業大学工学部)

2.5 研究調査の概要

2.5.1 運動時の視覚特性

近接運動対象の視的速度の規定に関して、断続光下の近接運動対象は連続光下に対して遅く知覚されるが到着時間は速く予測することが示され、要因の一つとして断続光下では網膜像の変化が段階的に変化し、変化の時間導関数が手がかりとなっていることが示された。また、対

向車輛に対する速度知覚や到着知覚、トンネル内の周期的明るさ変化など実場面に関して検討した。

TVモニターを用いた、実際の走行場面を模した運転座席に座った被験者のシミュレーション画面を観察し、見かけの速度と車間距離を推定した。速度知覚に関する光学的流れの有無や先行車の有無、距離知覚に関する先行車までの車間距離の推定について実験を行った結果が示された。また、運転経験の水準によって評価の仕方が異なっていることが明らかにされ、注意と有効視野、注視点、周辺視などについて検討した。

2.5.2 道路交通環境と視覚特性

トンネル入口部における先行車の視認性とその改善に関して検討した。トンネル照明では、ドライバーの順応状態における落下物に対する路面輝度差と先行車の視認性を確保することが重要であることが示された。トンネル入口部での先行車のブライトネスを計測すると同時に、視認性を主観評価し、ブライトネスを改善することにより視認性が向上することを示された。ブライトネスを改善するために、対称照明によって必要な路面輝度を確保し、先行車の背面を照明することによって鉛直面照度を高め、その視認性を改善するプロビーム照明についての説明が行われ、交通量やトンネルの性格によって、プロビーム照明、対称照明、カウンタービーム照明等の使い分けの必要性が示された。また、今後予測される高高速化に対する課題などについて検討した。

自動車灯火の動向について技術開発と基準制定の進展の両者から検討した。技術開発が進められている灯火として紫外線併用ヘッドランプ、ネオンやLEDを用いたストップランプ、基準化の段階のHIDヘッドランプなどの効果について検討が行われた。また、技術開発の完成と実用化への世界的な基準化のための各種機関（UN、ISO、IEC、CIE）の調和活動の関係について示された。

2.5.3 鉄道交通環境と視覚特性

列車の速度向上に伴い、現在用いられている最大5現示の信号方式では列車の減速性能や閉そく区間の長さの関係から、より多くの現示段階が必要であり、新たな信号方式が検討された。色灯式鉄道信号では、緑(G)、橙(Y)、赤(R)の3種類の色光を単独または2個の組み合わせ(YG、YY)で用いられているが、新たにG2灯による現示(GG信号)とYG2灯を同時に明滅させる方式(YGフリッカー信号)についての視認性を中心とした人間工学的な検討について論議した。また、信号用光源としてのLEDの採用について、明るさ向上、光軸問題・直射光影響の解消、現示変化の印象改善、中継信号機への適用などについて検討した。

2.5.4 海上交通環境と視覚特性

海上交通システム構成要素の一つである環境について、その視覚的環境を航海視環境として検討を行った。航海視環境は、光源となる太陽と地球自転との関係により屋外照度は実に120万倍の変化を呈している。このような航海視環境のなかで、船舶などの物標の視認性に影響を

および航海船橋の水平面照度と航海船橋から眺めた水平線付近の天空輝度および海面輝度の関係について検討を行った。

2.5.5 航空交通環境と視覚特性

航空灯火の設置及び運用方法に関する基準がどのような経緯で定められてきたかを調査し、ICAO（国際民間航空機構）の専門委員会であるVAP（視覚援助施設パネル）などの活動と組織やレーザレーダなどを用いた今後の視覚支援システムの在り方について検討した。また、航空灯火の見え方に関してアルパー方式とカルバート方式による灯火パターンの違いや灯器の種類について検討し、灯火の配光と輝度に関してICAOが定めているカテゴリー I およびカテゴリー II を同時に満たす条件での角膜照度分布の解析と視覚実験データによる見え方の照合、シミュレーションによる角膜照度の結果などについて検討された。

2.5.6 航空機乗員および海技従事者の身体検査基準

航空パイロットの視機能に関して、現行の基準は少し厳しく、今後改訂される予定であり、海技従事者の身体検査基準に関しては現在検討が進められていることが示された。アノマルスコープやランタンテストなどの色覚検査法と色覚異常者に関する問題点や視環境のシグナルなどは色だけでなく形や大きさなどで示す方向について検討した。

連続光と断続光下の接近運動知覚

北海道大学 相 場 覚

1. 序

われわれの視覚は網膜上の2次元の画像をもとに3次元の立体へと再構成する機能を備えているといわれる。もっとも日常的な例ではネッカーキューブなどのように平面に描かれた幾何学的図形に奥行き感が生じることである。これらはその画像によって表現される物体の3次元性についてのわれわれの過去の経験をもとにしてトップダウン的に解釈される結果とも考えられるが、一方それらの図形がわれわれに与える3次元的印象は直接的であり、かなりの強制力のあるものであり、かつ必ずしもそれらの一つひとつに対応する過去の経験があるとは限らないことから、それはトップダウン過程ではないかもしれない。とすればそれは、刺激的要因によるボトムアップ過程と考えなければならない。Metzger (1953) はある図形が2次元的に見えるか3次元的に見えるかはそのいずれがより‘よい形’のものとして知覚されるかに依存している、と述べている。しかしそのためには視覚系がまずある物体(立体)の2次元の平面への射影像(つまり網膜像)からもとの立体を回復して知覚し、それが‘よい形’であるかどうかを判定しなければならず、ここにおいても2次元の刺激から3次元の形体を回復する過程が前提とされるのである。

回転中の立体の2次元の投射からもとの立体を回復する過程は運動の奥行き効果(kinetic depth effect: KDE)として知られている(Wallach & O'Connell, 1953)。これは、計算理論で運動からの構造復元問題(structure-from-motion problem)と呼ばれているものと同じもので、Ullman (1979), Marr (1982)などが、この問題を手がけている。彼らは立体の剛体性を仮定したならば、同一平面上にないいくつかの点を異なった3個の時点に観察するだけでその形体は知覚的に復元されると考える。

さらにMarr (1982) はわれわれの3次元世界の認識は網膜像のみに基づく観察者中心座標系(viewer-centered coordinate system)ではなく、むしろ物体中心座標系(object-centered coordinate system)により構成されていると考え、そのためには

キーワード: 接近運動, 運動補間, 時間導関数, 衝突時間, 3次元運動の回復

外界に存在する物体一般の共通的特性に関してのある種の知識を仮定し、それらの特性をもった部分 (modular component) の結合され方の認識が物体の3次元世界での認識につながると考える。たとえば物体が一つの軸をもった一般の円錐 (generalized cone) からなるととらえ、それらの円錐の大きさや結びつき方の認識が立体の認識の基をなすと考える。

これらの理論は外界の状態についての十分な情報を前提としているが、実際の日常的な状況では多くの場合与えられる情報は部分的・断片的なものが多く、視覚系はそれらから補間を行なって外界の事物を再構成しようと試みる。運動対象に対するこのような補間が仮現運動である。すなわち異なった時点で異なった二つの場所に現われるある事物が同一のものであり、それがその二つの場所間を移動するという知覚が生じる。

ここに報告されるのはこのような仮現運動が前額平行面ではなく、3次元方向において起った場合、視覚系はどのような運動をそれらから回復・構成するかを扱ったものである。

2. 単純な接近運動

2.1 Weinberger の理論

Weinberger (1971) は接近運動する対象について、ある瞬間のその網膜像の大きさとその時間的導関数 (いわば大きさの瞬間的な変化率) とからその対象の観察者の顔面への到着時間が推定できることを数式上で証明した。すなわち h は対象の実際の大きさ、 S は観察者と対象間の距離、 S' は水晶体の中心 (nodal point) から網膜までの距離、 h' は網膜像の大きさ、 n' は眼の媒質の屈折率、 v をその対象が接近する速度とすると、

$$\frac{dh'}{dt} = -\frac{dS}{dt} \frac{hS'}{S^2 n'} = v \frac{hS'}{S^2 n'}$$

が成立する。また、

$$\frac{h'}{\frac{dh'}{dt}} = \frac{S}{v} = t$$

であるので、対象が顔面に到着する時間 t がわかるという理論である。

一方、Lee (1980) はカツオドリという海鳥の一種が、水面に向かって水中のえさを求めて急降下する時、着水の直前に自らの羽をたたんでそれを傷つけないようにし、かつ正確にえさを捕食することができるのは、上の式によって示されるような視覚情報にしたがって自らの水面到着の時間を予測し行動しているためであると考えた。その後、Lee & Reddish (1981) は実際にこの海鳥の急降下・着水の状態を映画に撮影し、基本的には上の考えが正しいことを証明した (ただし、急降下の場合、加速度の要因が加わるので関係式はやや複雑なものになった)。

2.2 単一刺激を用いた到着時間の予測 (戸田・相場・寺岡・阿部, 1979)

戸田ら (1979) は Weinberger の理論が人間の被験者においてどの程度にあてはまるかを、コンピュータのディスプレイを用いて一定の速度である対象が接近するときの網膜像の大きさの変化をシミュレートしたものを被験者に見せ、ある時点でそれが消失し、その対象が同じ一定の速度で運動を続けた場合、それが自分の顔面へ到着すると思われる時点を被験者がキー押しで知らせる、という方法で調べた。より具体的には、コンピュータのディスプレイに単独の円型の刺激をまず静止状態で提示し、被験者はそれが一定の距離 (32 m) にある対象であると告げられる。数秒後その刺激は接近運動を開始し大きくなり始める。それがランダムに設定されたある点までくると消失し、被験者はその後もこの対象が同じ運動を続けたらいつそれが自分の顔面に到着するかの判断を求められた。この実験ではつぎの3個の変数が用いられた。

- 1) 対象円の大きさ (半径; 2, 4, 8 m)
- 2) 接近運動の速度 (21.6, 28.8, 36.0, 43.5 および 50.4 km/h)
- 3) 提示走行距離 (12, 20, 28; これは全走行距離の 3/8, 5/8, 7/8 にあたり、すべて動き始めてからの距離)

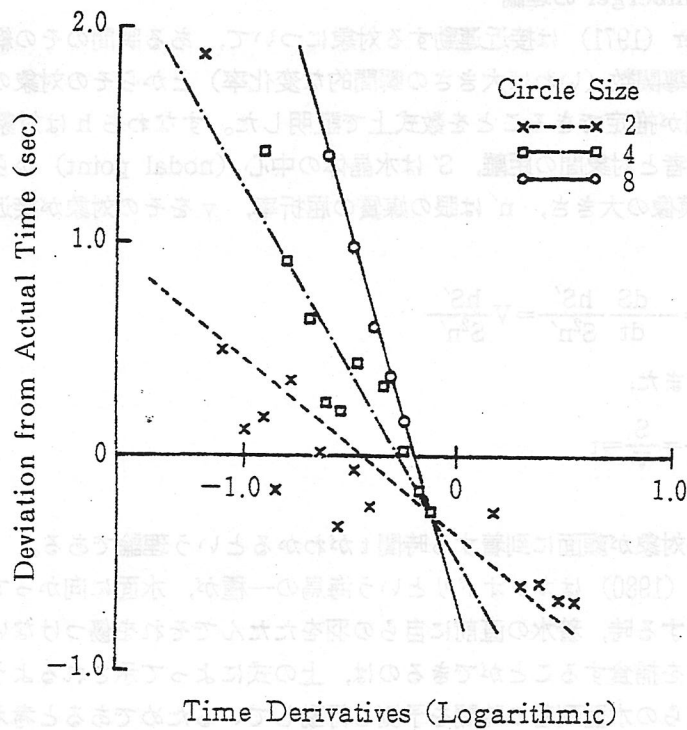


図1

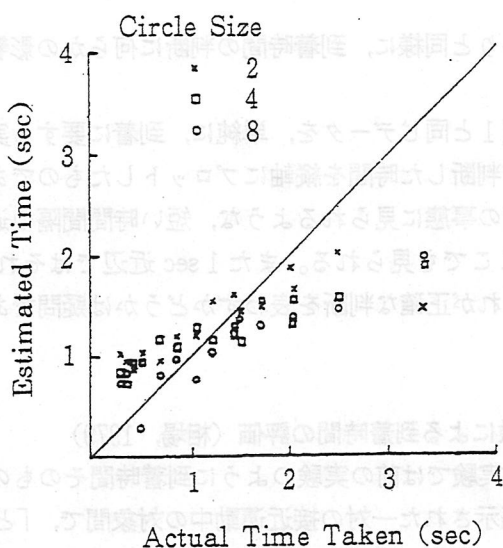


図2

実験が始まるまえに、実際に用いられる刺激条件のうちからランダムに選ばれた20個について、正しい到着時間を信号音で知らせながら練習試行を行なった。被験者はこの種の実験にはナイーブな大学生20名(年齢20～26歳)であった。

図1は対象の大きさごとに、それらの本当の到着時間と被験者が判断した到着時間の差を縦軸に、それらが消失する瞬間の大きさの変化率(すなわち網膜像の大きさの時間導関数)を横軸にプロットしたものである。これから明らかなように、被験者の判断はいずれの条件でも実際の到着時間とは大きくずれており、かつそのずれは時間導関数の大きさに依存し、これが小さいほど到着時間を遅く判断したことがわかる。これは被験者が時間導関数のある種の手がかりに用いてはいるものの、Weinbergerが考えたように正確な到着時間を得るためには使うことができなかったことを示している。しかし時間導関数が-0.1付近ではどの大きさの条件でも実際時間と判断された時間との差が0にもっと近く、少なくともこの条件のもとではWeinbergerの予測に近かったことが示されている。なお対象の大きさごとに異なった直線の傾斜が得られたが、すなわち大きな対象ほど傾斜が急であるが、時間導関数を計算するにあたってはすでに対象の大きさを考慮にいれてあるので、この違いはそれ以外の要因の効果と考えられる。それが何であるかは今のところ不明であるが、大きい対象ほど網膜の周辺部を刺激することと関係あるかもしれない。また今回使用した刺激よりもずっと小さい刺激を用いた場合、はたして正確な判断を表す直線に漸近するか否かも不明である。

このようにWeinbergerの予測は、実際の被験者を用いて判断させた場合には、ごく限られた条件を除き全くあてはまらないことが判明した。しかし一方では、時間導関

数がほかの手がかりと同様に、到着時間の判断に何らかの影響を与えていることが示唆される。

図2はさきの図1と同じデータを、単純に、到着に要する実際の時間を横軸に、被験者がそれに対して判断した時間を縦軸にプロットしたものである。全体的に見て、ほかの多くの時間評価の事態に見られるような、短い時間間隔の過大評価と、長い時間間隔での過小評価がここでも見られる。また1 sec 近辺ではそれが正しい判断の直線と交わっているが、これが正確な判断を表わすかどうかは疑問である（いわゆる無記時程と同じ現象）。

2.3 一対刺激による到着時間の評価（相場，1979）

以下に報告する実験では前の実験のように到着時間そのものを被験者が判断するのではなく、同時に提示された一対の接近運動中の対象間で、「どちらが先に（観察者の顔面に）到着するか」または「どちらがより速いか」のかたちで相対判断を求めた。なお「同じ」という判断を含む3件法が用いられた。今回は対象の大きさは一定で4 m（半径）がすべての条件のもとで用いられた。変数として以下のものが用いられた。

1) 到着時間差 出発点からの距離が20 mのものに対して+0～0.4 secの差で到着するものを9個（0.1 sec 間隔）設定した。

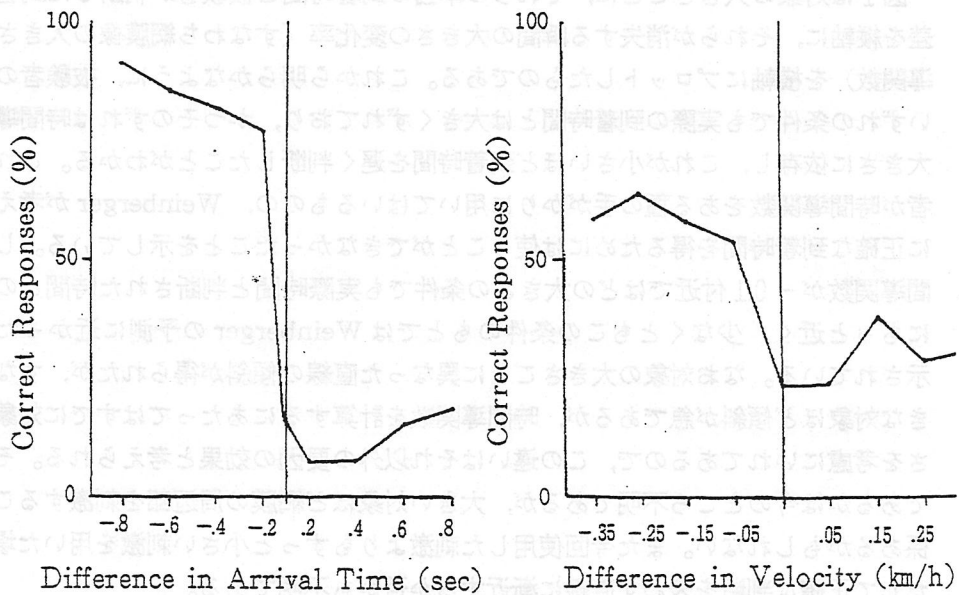


図3

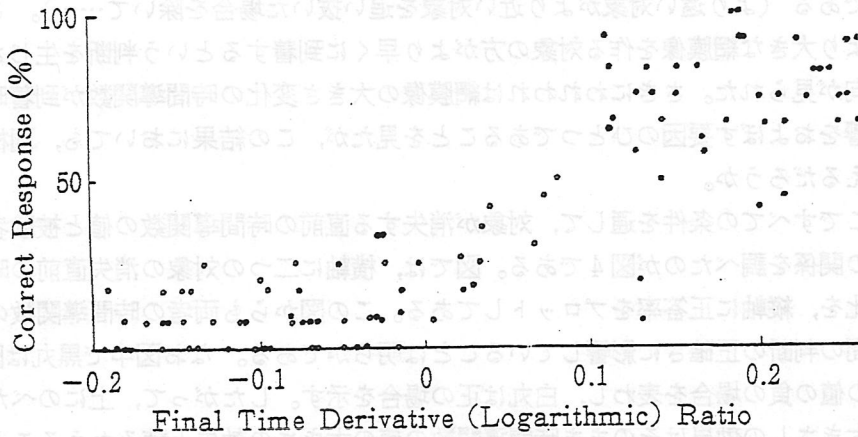


図4

2) 距離 出発点において20 mよりも2 mおよび4 m近いものと20 mとの比較が行なわれた(すなわち20 mと18 m, 20 mと16 m間の比較が行なわれた)。

3) 速度 16.0, 14.2, 12.2 km/hの3速度を設定した。これはおおまかに言って高, 中, 低速度の条件とみなすことができる。具体的には到着時間差の条件を優先させ, この高, 中, 低の速度の範囲内で速度は若干微調整された。

4) 提示時間 1.5, 2.0, 3.0 secの3種類で, 前実験と同じく当初の部分のみがこの時間だけ提示される。

被験者には男女大学生12名が用いられた。

結果は図3aに示される。左側の図(a)は横軸は20 mの距離から出発した対象(これを標準刺激とする)の到着した時間を基準とした, もう一方の対象の到着した時間(相対値)を表わす(もう一方の対象が標準刺激である20 mの対象より速く到着した場合は負の値を, 遅く到着した場合は正の値をとる)。縦軸は被験者の判断の正しかった割合, すなわち実際の到着時間関係と被験者の判断したそれとが一致した割合を示す。距離および速度条件はここではプールされている。

この図から明らかなことは, 横軸の値が負から正に移るにしたがって正答率が急激に減少することである。横軸の値が負の値をとるのは「より近い対象」が「より遠い対象」つまり20 mの距離から出発した標準刺激よりも先に到着することを意味する。正の場合はその逆の場合である。したがってこの図に見られる正答率の分布は, 被験者の反応が, 出発点においてより近かった対象が先に到着するという方向に偏っていることを示すものである。

これはいかなる理由によるものであろうか。この実験では対象の大きさは一定であった。それならば, より近くに当初置かれた対象は出発点において常により大きい網膜像

を作っていた。また、対象の消失以前のある時点でも同様のことがしばしば起こっていた筈である（より遠い対象がより近い対象を追い抜いた場合を除いて……）。このように、より大きな網膜像を作る対象の方がより早くに到着するという判断を生じさせる強い傾向が見られた。さきにわれわれは網膜像の大きさ変化の時間導関数が到着時間判断に影響をおよぼす要因のひとつであることを見たが、この結果においても、同様のことが言えるだろうか。

そこですべての条件を通して、対象が消失する直前の時間導関数の値と被験者の正答率との関係を調べたのが図4である。図では、横軸に二つの対象の消失直前の時間導関数の比を、縦軸に正答率をプロットしてある。この図からも両者の時間導関数の比が到着時間の判断の正確さに影響していることは明らかである。なお図中で黒丸は図3aの横軸の値の負の場合を表わし、白丸は正の場合を示す。したがって、上にのべた網膜像の「大きさ」の効果はそのまま時間導関数の値の大きさの効果と読みかえることができる。

2.4 一対刺激による速度の評価（相場，1979）

この実験で用いられた方法はさきにのべた2.2と根本的には同じで、ただここでは速度の変数に着目し、相対的速さの判断を求めたものである。対象の大きさは一定（半径4m）で前実験と同じである。用いられた変数は以下の通りである。

1) 距離 2.2におけるのと同様、20mと18m、20mと16m間の比較が行なわれた。

2) 速度 16km/hから11km/hまで0.2km/hきざみで変化した速度が用いられた。ただし、2.2においてと同様に、15.2km/hを中心とする速度群（高）、13.4km/hを中心とする速度群（中）、11.6km/hを中心とする速度群（低）の三つのグループに分けられ、これによって極端に異なった速度対を提示する手間を省いた。

3) 提示時間 1.5、2.5、5.0 secの3種類で、この時間だけ接近運動の初めの部分が見せられる。

結果は図3bに示される。この図では横軸は速度差を表わし、2.2と同様出発点で20mの距離にある対象を基準とし、それより近い距離にありかつ速度が速いものを負で表わし、遠い距離にありかつ速度が遅いものを正で表わした。距離変数はプールしてある。

この結果も同図aに表わされた2.3の実験の結果同様、出発点においてより近い距離にある対象が速いとする判断では横軸が負のときには正答率が高く、正のときには正答率が低い。これは言うまでもなく、近い距離にある対象を「より速い」とする方向に被験者の判断が偏っているためである。

これはどのように理解したらよいのであろうか。これはすでに2.2の結果の説明のときに述べたように、被験者は速度そのものを判断するよりは刺激の速度には直接関係

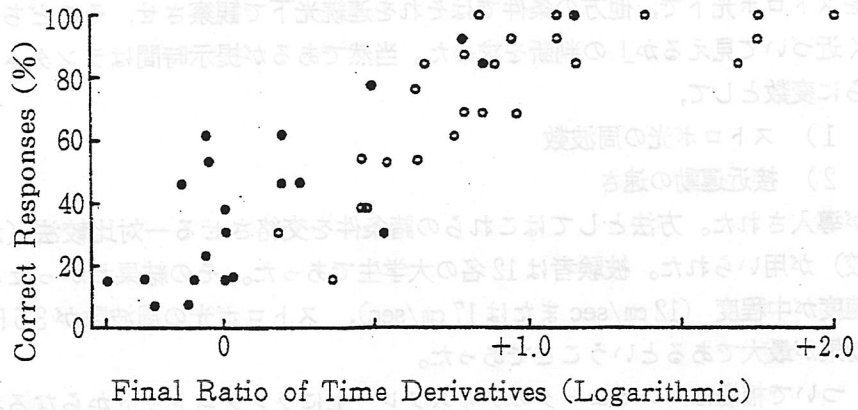


図5

しない変数を手がかりとしているためではないだろうか。当然すでに2.2で取り上げた対象消失直前の網膜像の大きさの時間導関数の値が判断に影響していると思われるが、今回はこの値と正答率をプロットしても前回のような明瞭な関係は見られなかった。これは到着時間の場合より時間導関数のほかの要因の効果が大きいためかもしれない。

一方相場はこの実験と類似した状況をシミュレートしたそれ以前の実験(相場, 1977)においては図5のような結果を得ている(この図では黒丸と白丸が図4とは逆の関係になっている)。ここでは時間導関数の値の影響が明瞭に見られる。本節の実験の結果とこの実験の結果の違いの理由ははっきりしないが、多分本節の実験ではその実験と比べて2対象間の速度の違いがあまり大きくなかったせいかもしれない。

2.5 連続的接近運動の知覚過程

連続的な接近運動をしている対象が観察者の顔面に到着する時間の予測は、Weinbergerが想像したようには正確には行なわれないことがこれらの実験の結果から明らかになったが、彼が注目した時間導関数がこの、またこれに関連した判断の、ひとつの重要な要因となっている可能性は充分にある。もしより自然に近い環境のもとで、そのほかの手がかり豊富にある状況のなかで同じような判断を求められた場合には被験者はかなり正確な判断を行なうことができるかもしれない。

3. 断続的接近運動

3.1 接近運動の連続的提示と断続的提示下の速度評価 (Aiba, 1977)

相場は、ある接近運動中の対象をストロボ光で照明すると、その対象が標準的な連続光中で見るよりもずっと速くに接近してくるように見えることを発見した。その効果は自分の手を顔の前後に動かすことによっても容易に経験することができる。これをより

実験的な方法で確認するために、黒い布地をはりつけた多数の白いテープ片からなる約 10° の視野を、光学的方法によって特定の速さで拡大させつつ、ひとつの条件ではそれをストロボ光下で、他方の条件ではそれを連続光下で観察させ、そのどちらが「より速く近づいて見えるか」の判断を求めた。当然であるが提示時間はランダムに変えた。さらに変数として、

- 1) ストロボ光の周波数
- 2) 接近運動の速さ

が導入された。方法としてはこれらの諸条件を交絡させる一対比較法（ただし継時比較）が用いられた。被験者は12名の大学生であった。その結果わかったことは、接近速度が中程度（12 cm/secまたは17 cm/sec）、ストロボ光の周波数が3.5 Hz近辺でこの効果が最大であるということであった。

ついで相場はコンピュータのディスプレイ上にランダムドットからなるパタンを提示し、そのパタンを連続的ないし断続的に拡大させることによって、連続および断続的接近運動による網膜像変化をシミュレートし、さきほどの光学的方法でのものとほぼ同様な結果を得た。なおこの実験では1周期中の'on-off'の割合も変化させたが、'on'の長さが大になるにつれて効果は減少した（この点については後述の3.3を参照されたい）。

その後Rogowitz (1984) はAibaの追試を行ない、基本的には同様な効果を見いだした。ただしRogowitzは観察者が顔を対象の方へ近付けたり、遠ざけたりさせて対象との接近・後退の運動を実現させるという、やや正確さを欠く方法をとったのでその速度ははっきりしないが、その記述から想像されるところでは約72.4 cm/secであった。また対象の大きさは、大きい方の対象では一番遠い位置で視角約 8° 、一番近い位置では視角約 15° で、小さい方の対象ではそれぞれその $1/4$ であった。一方彼女は、中心視と周辺視とを比較しているが、小さい対象で中心視の場合には効果が起こらず、大きな対象で中心視か、小さな対象で周辺視の場合にのみ効果が見られた、と報告している。いずれの場合も周辺視の関与が示唆される。また彼女は対象に縞模様を入れ、その細かさを変えたが、それはあまり影響がなかった。

このようにRogowitzとAibaの実験は若干条件が異なるが、得られた結果はほぼ一致している。ただRogowitzはパタンの拡張（Rogowitzはこれを'looming'と呼ぶ）に注目し、Aibaはそれから2次的に引き起こされると思われる接近運動の速さに注目した点で異なる。

では如何にわれわれはこれらの結果を解釈したらよいのであろうか。たとえばRogowitzは彼女の結果について「それは大きさの恒常性が崩壊するためである」（上掲の論文のタイトルの一部）と述べているが、大きさの恒常性を支えている過程そのものが明らかでない限りこのような解釈はむしろさらに問題を乞うようなものである。むしろ、すでにわれわれが見てきたように、2次元的な網膜像の大きさの変化から視覚系

はどのような刺激変数を取り出し、接近運動などの3次元運動を回復するかという観点から考察しなければならないだろう。

すでにわれわれは網膜像の大きさ変化の時間導関数が接近運動の速度や対象が視察者の顔面に達する時間などの評価に大きく関係することを見いだした。しかしいわゆるストロボ光下では時間導関数はあり得ない。なぜなら網膜像自体は毎回静止しているからである。しかしもしわれわれがこれをひとつの仮現運動の事態と考えるならば運動はたしかに連続的である。しかし提示の頻度を考えると（たとえば、3.5 Hz）その拡大運動は到底スムーズなものではなく、相当にギクシャクしたものである。Morgan (1979, 1980) によれば、ストロボ光的に異なった点につきつぎと提示された対象が真にスムーズな運動に見えるためにはその頻度が25 Hzから30 Hzの間以上でなければならず、また空間的ギャップは視角にして数分でなければならぬと述べている。今回の実験に使われた頻度はこれよりもはるかに低く、また空間的ギャップははるかに大きいのでスムーズな運動が見えないのは当然である。このような事態で時間導関数を計算することはたとえそれが連続運動であったとしても不可能に近い。しかし見えの運動がギクシャクしていること自体、部分的には像の大きさの変化に加速・減速があったことが想像される。多分このうちの加速が主観的速度の増大に関係あったと考えることは難くない。しかしより完全な理解のためには、後述の実験の結果も参考にしなければならない。

3.2 接近運動の連続的提示と断続的提示下の定位（相場，1985）

上に報告された実験では連続運動の対象と断続運動の対象とが継時的に提示され、それぞれの速度・到着時間等が判断された。いまこれらの異なった提示モードの対象を同時に提示し、その並列状態を判断させたら、どのようになるであろうか。ここに報告する実験はまさにこれを見ようとしたものである。

連続と断続提示の二つの対象は同じコンピュータ・ディスプレイの右側と左側に提示された。どちら側が連続でその反対側が断続であるかは毎回ランダムに変えられた。なお統制条件として両方の対象が連続提示されるような組み合わせもランダムにまぜられた。運動中の像のシミュレートのためにつぎの条件を設定した。

- 1) 対象の速度: 20 m/sec
- 2) 走行の全距離: 86 m
- 3) 対象の大きさ: 直径 25.5 cm
- 4) 断続提示の頻度: 2.78 Hzの場合 (120 msec on, 240 msec off), 1.67 Hzの場合 (120 msec on, 480 msec off)

被験者は対象が出発点と自己との中間の距離にあると思える時点 (MID) と、両方の対象が同時に消失する瞬間 (END) (これは対象が顔面に到着するより 200 msec ~ 1.5 sec 前のランダムに選ばれた時点) の二つについて「どちらが先を走っているように見えるか」の判断を求められた。2対象間の実際の位置関係、すなわちどちらが、ど

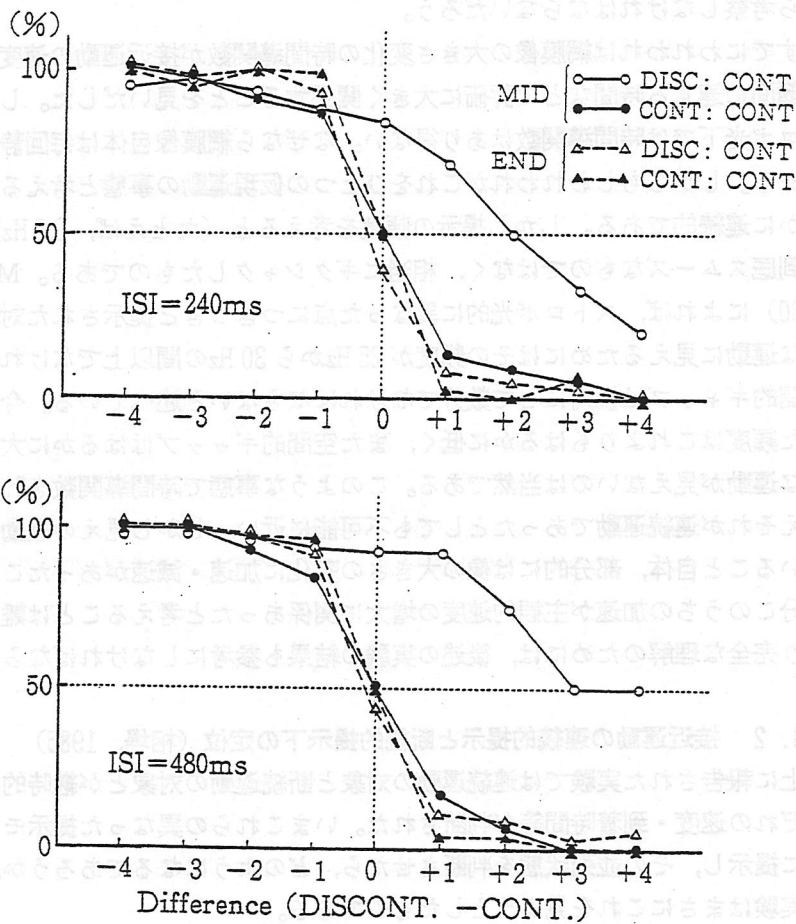


図6

れだけ、出発点において先行するかはランダムに決められた（この位置関係は消失時点まで維持された）。

得られた結果は図6のMIDに示されるようなものであった（この中では出発点における相対的位置関係の条件はすべてプールされている）。すなわち断続提示の対象は、実際は連続提示の対象と並列状態にあるにもかかわらず、常にこれよりも後方に定位された（図ではその遅れをとりもどすために断続対象がどれだけ前に位置しなければならないかを示す）。より具体的には2.78 Hzの場合には約4.8 m、1.67 Hzの場合には約7.2 m後方に定位された。しかしながら対象消失の瞬間（END）についての判断では統制条件（連続同士の比較）と違いがなかった。

さらに上の結果を確認する意味で連続提示対象と断続提示対象のそれぞれについて、もう一つの対象を種々の（ランダムに設定された）位置関係において瞬間的に（120

相場：連続光と断続光下の接近運動知覚

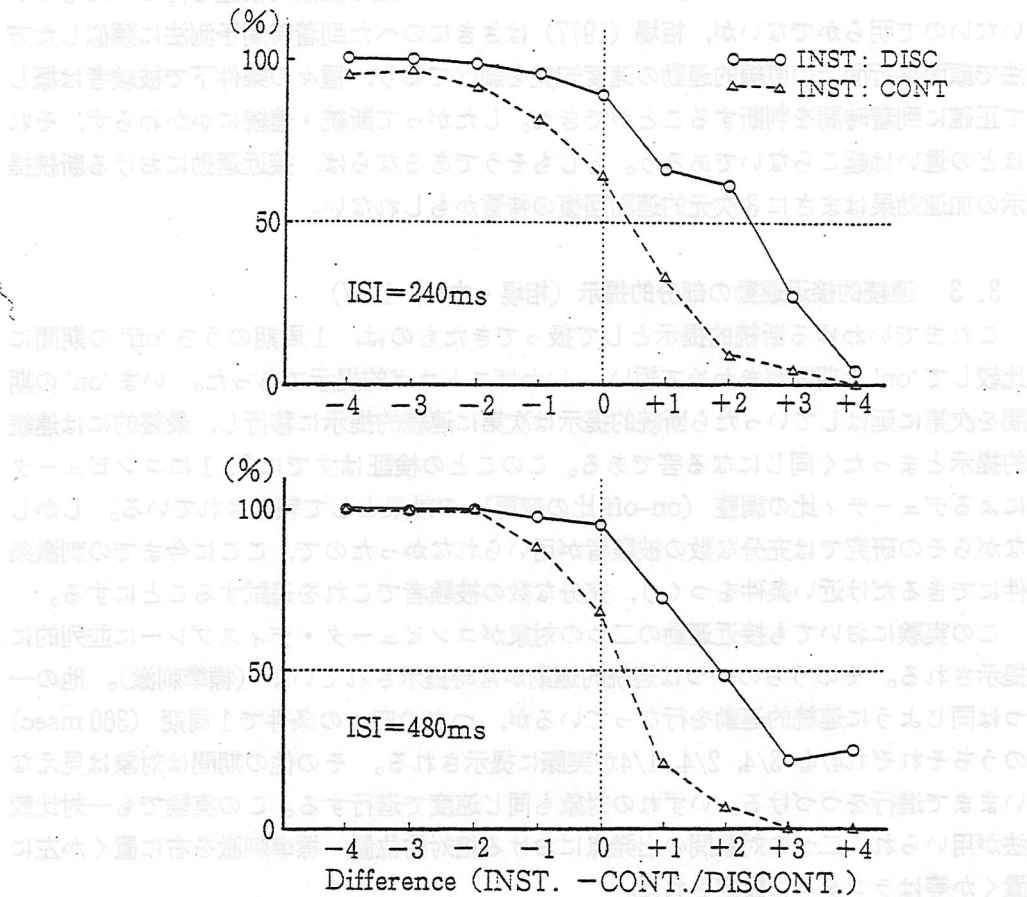


図7

msecの間だけ1回のみ) 提示し、上の実験と同じように「どちらが先にあるように見えるか」の判断を求めた。結果は図7に示される。瞬間提示の対象を基準として連続条件と断続条件を比較した場合、結果はやはりさきの実験の結果と同様、断続提示の対象が遅れて見られた。

これらの結果は何を意味しているだろうか。さきの実験では断続提示の対象は顔面への到着時間の判断から「より速い」と見られたが、この実験の定位では明らかに遅れて見られた。すなわち対象の速度の判断と定位とは明らかに乖離しているということである。一方これまでの顔面平行面での実験では断続提示が対象を遅れて見させる効果のあることは既知の事実である(たとえば, Funakawa & Aiba, 1987)。したがって網膜上の2次元的情報の処理がそのまま3次元運動の回復に利用されるならば、今回の結果はそれほど意外なことではないだろう。一方顔面平行面での断続運動には見かけの速度

を速める効果があるだろうか。これについてはいまだ誰も直接的検証を行なったものがないので明らかでないが、相場 (1977) はさきののべた到着時間予測法に類似した方法で顔面平行面上の直線的運動の速度知覚を調べており、種々の条件下で被験者は概して正確に到着時間を判断することができた。したがって断続・連続にかかわらず、それほど違いは起こらないであろう。もしもそうであるならば、接近運動における断続提示の加速効果はまさに3次元的運動回復の特質かもしれない。

3.3 連続的接近運動の部分的提示 (相場・中村, 1987)

これまでいわゆる断続的提示として扱ってきたものは、1周期のうち 'off' の期間に比較して 'on' の期間がきわめて短い、いわばストロボ的提示であった。いま 'on' の期間を次第に延ばしていったら断続的提示は次第に連続的提示に移行し、最終的には連続的提示とまったく同じになる筈である。このことの検証はすでに3.1にコンピュータによるデューティ比の調整 (on-off 比の変更) の効果として報告されている。しかしながらその研究では十分な数の被験者が用いられなかったので、ここに今までの刺激条件にできるだけ近い条件をつくり、十分な数の被験者でこれを追試することにする。

この実験においても接近運動の二つの対象がコンピュータ・ディスプレイに並列的に提示される。そのうちの一つは連続的運動が常時提示されている (標準刺激)。他の一つは同じように連続的運動を行なっているが、つぎの四つの条件で1周期 (360 msec) のうちそれぞれ4/4, 3/4, 2/4, 1/4が実際に提示される。その他の期間は対象は見えないままで進行をつづける。いずれの対象も同じ速度で進行する。この実験でも一対比較法が用いられ、二つの対象間の出発点における相対的位置、標準刺激を右に置くか左に置くか等はランダムに設定された。

被験者には男女大学生10人が用いられた。結果は図8に示される。この図でも被験者・出発位置等はプールされている。

この図によっても明らかのように断続条件の対象は、それが提示される割合が小さくなればなるほど、遅れて見られる。これは3.2の実験結果からも予想されるもので、接近運動の知覚においては、提示される割合が少なければ少ないほど対象は後ろに定位される。

これはどのように解釈できるだろうか。この結果は次のことを意味しているようである。対象の定位は、断続提示された対象の一つひとつの網膜像の leading edge (像の時間的にはじめのエッジ) ではなく、むしろその trailing edge (像の時間的にはじめのエッジ) によって決定されているようである。すなわち断続運動はそのギャップが補間されて連続運動に近いものに見られるが、補間は一つ前の像のトレーリング・エッジと現在の像のリーディング・エッジとの間で行なわれる。したがってその定位はこの二つのエッジのほぼ平均的な位置に行なわれる。もし1回ごとの提示時間が短ければ、一つ前の像のトレーリング・エッジは時間的にも空間的にも比較的遠い過去のこととなり、

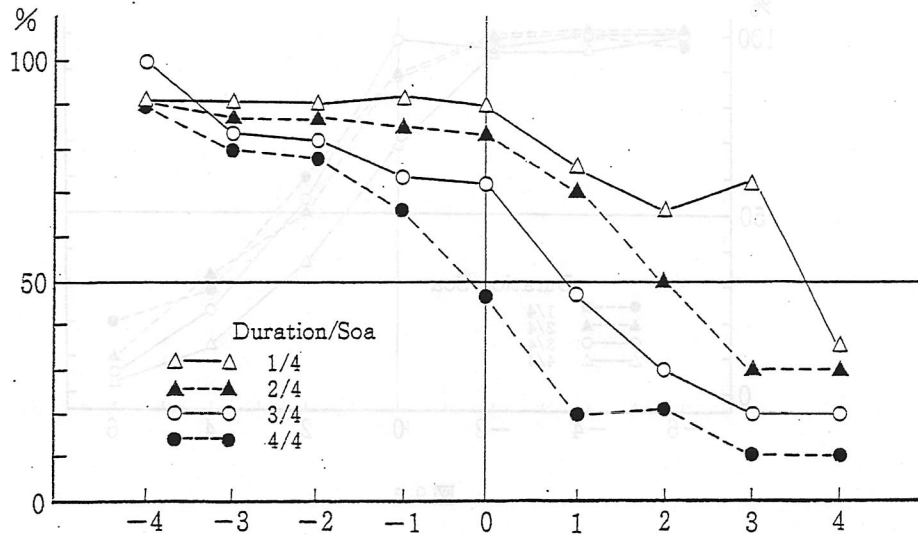


図8

それにより表現される像の空間的定位は後方に（遅れて）見られる。

それでは断続運動において1回ごとの像が静止したままで、その提示時間が長くなったり短くなった場合はどのように定位されるだろうか。つぎの実験ではまさにそのことが調べられた（相場・中村, 1987）。

この実験では手続き、刺激提示方法等はこの前の実験と同じである。ただ前の実験で連続運動の1周期の4/4, 3/4, 2/4, 1/4が提示されたのに対し、この実験では（標準刺激を除いて）すべてこの期間中静止した像が提示される。したがって4/4の条件が一番停止期間が長い。その他の条件は上の実験と同じである。

実験には15人の男女学生が被験者となった。

結果は図9aに示される。ここでも被験者・出発位置等の条件はプールされている。

図の上は1周期が4サイクル（90msec×4）のものであり、下は2サイクル（90msec×2）のものである。

この図からも明らかなように、四つの条件の中で最も遅れの少ないのは4/4条件であり、3/4, 2/4, 1/4はこれよりも遅れが大きい。しかし後者三つの間では差がない。

この結果はどのようにして理解されるであろうか。まずこの実験の条件ではリーディング・エッジとトレーリング・エッジの区別がない。なぜならすべての像は静止しているからである（標準刺激を除いて）。したがって視覚系は一つの像が提示される初めの時点と終わりの時点の二つの時点を運動の補間にあたって選択することができるのみである。4/4提示の条件がそれ以外の提示条件にくらべてより少なく遅れて見られたということは、補間が終わりの提示時点同士、あるいは一つ前の終わりの時点と次の始まり

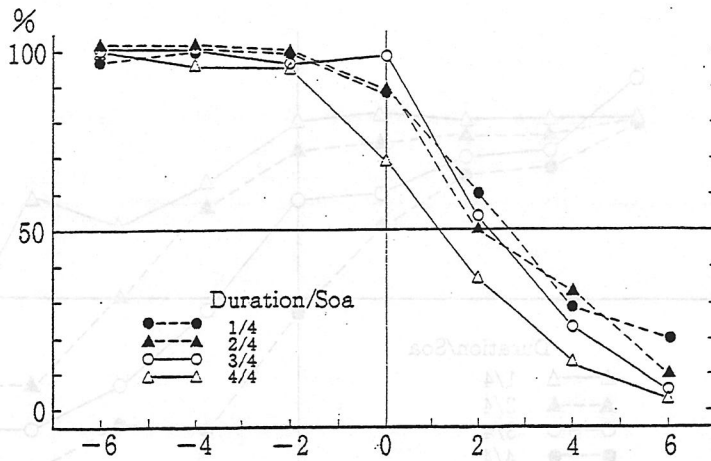


図9 a

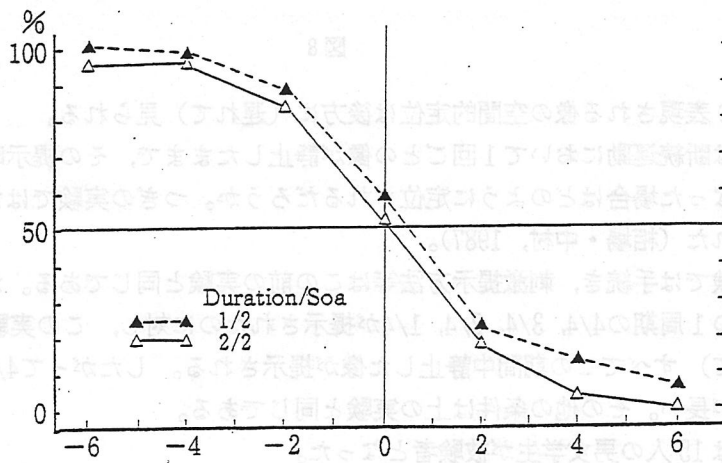


図9 b

との間の補間でないことは確かである。なぜならそのいずれの場合にも4/4条件では一番遅れて見られる筈であるから。多分視覚系は各提示の初めの時点同士で補間を行なうのであろう。それで3/4以下の条件間で差がないのだろう。それでは4/4条件が最も進んで見られるのは何故か。この条件と他の条件間の違いは、提示と提示の間に時間的ギャップがあるかないかの違いである。多分4/4条件の階段状の像の大きさの変化がこれを他に比べて進んでいると見させる要因であるかもしれない。なお2サイクルの場合一般的に効果の少ないのは(図9b)、補間の行なわれる空間的ギャップが小さいためと理解される。

上の二つの実験を要約したものが図10 a, bである。

相場：連続光と断続光下の接近運動知覚

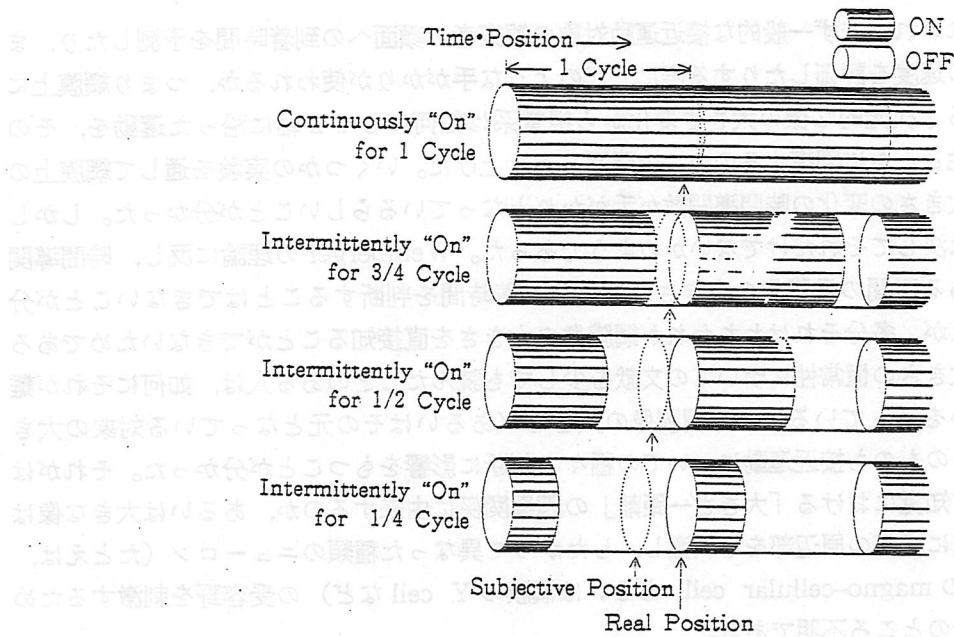


図10 a

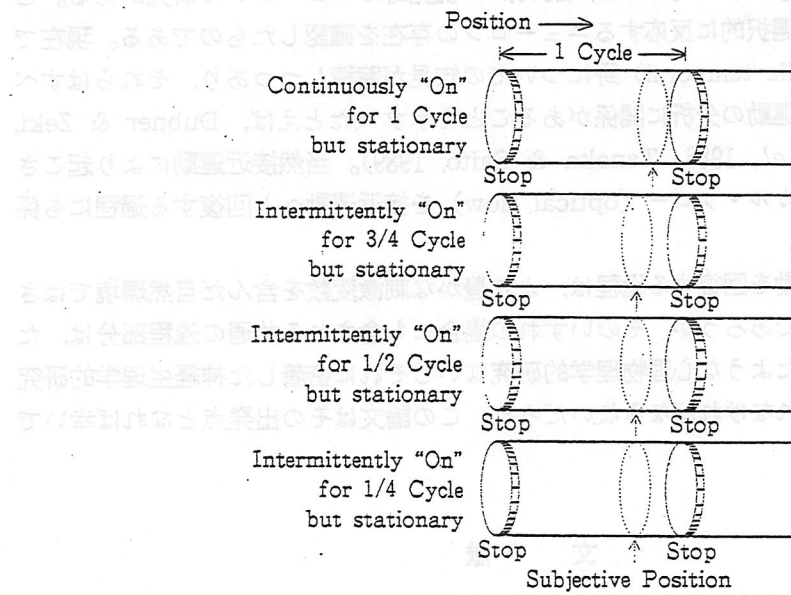


図10 b

4. 結論とまとめ

われわれは先ず一般的な接近運動対象の観察者の顔面への到着時間を予測したり、またその速度を評価したりする際に、どのような手がかりが使われるか、つまり網膜上に起こる2次元的な像の大きさ変化から視覚系は如何にしてZ軸に沿った運動を、その諸特性とともに回復するのか、の問題をとり上げた。いくつかの実験を通して網膜上の像の大きさの変化の時間導関数が手がかりとなっているらしいことが分かった。しかし要因は決してそれだけでないかのようであった。Weinbergerの理論に反し、時間導関数とある瞬間の網膜像の大きさだけから到着時間を判断することはできないことが分かったが、多分それはわれわれが網膜像の大きさを直接知ることができないためであろう。大きさの恒常性についての文献を少しでも読んだことのある人は、如何にそれが難しいかを知っている。一方網膜像の大きさ（あるいはその元となっている対象の大きさ）そのものも接近運動についての種々の判断に影響をもつことが分かった。それがはたして知覚における「大きさ—距離」の因果関係に由来するのか、あるいは大きな像は必然的に網膜の周辺部をも刺激し、したがって異なった種類のニューロン（たとえば、LGNのmagno-cellular cell,あるいは網膜のY cellなど）の受容野を刺激するためか、今のところ不明である。

接近運動知覚の神経生理学基礎については両眼視を前提とした、いわゆるStereo-motionに関してRegan & Cynader (1979)の視覚野のニューロンの研究がある。これは大きさの変化に選択的に反応するニューロンの存在を確認したものである。現在では皮質のMT (middle temporal) 野についての知見が蓄積しつつあり、それらはすべてこの領域が複雑な運動の分析に関係があることを示す（たとえば、Dubner & Zeki, 1971; Movshon *et al.*, 1986; Tanaka & Saito, 1989）。当然接近運動により起こされる拡大的オプティカル・フロー (optical flow) を接近運動へと回復する過程にも関わっているであろう。

視覚像から接近運動を回復する過程は、より豊かな刺激変数を含んだ自然環境ではさらに一層複雑なものであろうが、そのいずれの場合にも含まれる共通の過程部分は、たとえば今回報告されたような心理物理学的研究ないしそれに密着した神経生理学的研究によって今後解明されなければならないだろう。この論文はその出発点となれば幸いである。

文 献

- Aiba, T.S. 1977 Perceived velocity of radial motion in stroboscopic illumination. *Psychologia*, 13, 180-189.
- 相場 寛 1977 運動知覚の諸様相 北海道大学文学部紀要, 26(1), 3-28.
- 相場 寛 1979 予測法および対比較法による接近運動知覚の実験的研究 *Hokkai-*

- do Behavioral Science Report, Series P, Supplement, 10.
- 相場 覚 1985 接近運動における視的補間 日本心理学会第 49 回大会発表論文集, 40.
- 相場 覚・中村直人 1987 断続的接近運動対象の定位—視覚の時空的統合 日本心理学会第 51 回大会発表論文集, 192.
- Dubner, R., & Zeki, S.M. 1971 Response properties and receptive fields of cells in an anatomically defined region of the superior temporal sulcus in the monkey. *Brain Research*, 35, 528-532.
- Funakawa, M., & Aiba, T.S. 1987 Spatial localization of objects in long-range apparent motion. *Japanese Psychological Research*, 29, 103-111.
- Lee, D.N. 1980 The optic flow field: The foundation of vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 290, 169-179.
- Lee, D.N., & Reddish, P.E. 1981 Plummeting gannets: A paradigm of ecological optics. *Nature*, 293, 293-294.
- Marr, D. 1982 *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. New York: Freeman.
- Metzger, W. 1953 *Gesetze des Sehens*. Frankfurt am Mein: Waldemar Kramer.
- Morgan, M.J. 1979 Spatio-temporal filtering and the interpolation effect in apparent motion. *Perception*, 9, 161-174.
- Morgan, M.J. 1980 Analogue models of motion perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 290, 117-135.
- Movshon, J.A., Adelson, E.H., Gizzi, M.S., & Newsome, W.T. 1986 The analysis of moving patterns. *Experimental Brain Research*, Supplement, 11, 117-151.
- Regan, D., & Cynader, M. 1979 Neurons in area 18 of cat visual cortex selectively sensitive to changing size: Nonlinear interactions between responses to two edges. *Vision Research*, 19, 699-711.
- Rogowitz, B.E. 1984 The breakdown of size constancy under stroboscopic illumination. In L. Spillmann, & Wooten, B.R. (Eds.) *Sensory experience, adaptation, and perception: Festschrift for Ivo Köhler*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Tanaka, K., & Saito, H. 1989 Analysis of motion of the visual field by direction, expansion/contraction, and rotation cells clustered in the dorsal part of the medial temporal area of the macaque monkey. *The Journal of Neurophysiology*, 62, 626-641.
- 戸田正直・相場 覚・寺岡 隆・阿部純一 1979 人間機械系としてみた自動車運転における視覚情報処理メカニズムの研究 国際交通安全学会(IATSS)研究助成報告集, 1, 30-35.
- Ullman, S. 1979 *The interpretation of visual motion*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wallach, H., & O'Connell, D.N. 1953 The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*, 45, 205-217.
- Weinberger, H. 1971 Conjecture on the visual estimation of relative radial motion. *Nature*, 562, 229.

動態視環境における知覚特性の実験的研究

「映像による運転席から見た速度および車間距離の知覚」

菅野 理樹夫 (千葉大学)

研究の目的

本研究は、移動時の視環境、すなわち動態視環境において、運転者がさまざまな運転行動をとる場合、視環境の何が重要な知覚情報となるかという問題を扱った。また、運転者の特性を重視し、それぞれの行動規準を持った運転者は自己を取り囲む視環境との力動的な関係をどのようにして知るかということに関して検討を加えるために、運転経験の水準を実験変数として導入した。実験は実際の走行場面を模したシミュレーション画面を用いて、運転行動にとって基本的な知覚特性である、(1)速度、(2)距離、(3)時間の3側面に関して、以下の実験を行なった。

(1) 速度知覚に関する実験 (VTR参照)

I 光学的流れの有無による検討

実験1-1: 対向車の速度推定 (光学的流れのない条件)

実験1-2: 自車の速度推定 (光学的流れのある条件)

方法:

装置

1. 観察用CRT (37インチ) - 37C926 / 三菱電気
2. 実験者用CRT (14インチ) - KV-14G2 / ソニー電気
3. パソコン対応ビデオ / PV-S98 / COMBOY / 日本電気
4. 制御用PC-9801 / E / 日本電気
5. 反作用スイッチボックス / PC-98SWB2 / 日本アッセンブラ
6. 観察者用運転席 / スウェーデン・ボルボ社製

ビデオ撮影場所: 日本自動車研究所 (JARI) ・周回路の一部

道路構造条件: 平坦200m

速度条件: 40km/h, 60km/h, 80km/h, 100km/h

各走行速度のキャリブレーションは走行車両に積載した光反射による速度計測器と走行面に設置した反射板 (0m地点と200m地点に設置される) によって行なう。

被験者は全体で16人である。その内訳は運転経験の水準を累積走行キロ数によって、次のように分類された。

1. 免許有り / 熟練者 - 5名 (走行キロ数; 1万km以上~60万km)
2. 免許有り / 初心者 - 5名 (走行キロ数; 1万km未満)
3. 免許無し / - 6名 (走行キロ数; 0km)

計16人

手続

被験者はモニターTV (37インチ) 前に設置された運転座席の椅子に座りコンピュータ制御によってランダムに提示される走行中のビデオ画面を観察した。観察距離は約90cm (視角約42°) である。ただし、観察条件を視覚的観察場面に限定したために画面からの音声は出ない。予め予備観察場面 (4種類) を観察した後に実験用観察場面がランダムな順序で提示される。被験者は、画面を観察した後にその時の「みかけの」速度を推定し、その速さを時速 (5km/h単位) で実験者に報告する。実験者はそれを所定の記録用紙に記入する。推定の繰り返しは6回行なわれた。観察場面によって判断が難しい場合は同一の場面を再度提示する。実験は半暗室条件で行なわれる。

実験は以下のような観察場面で行なわれる。

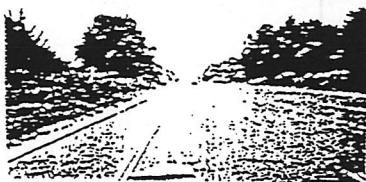


図1-1
200m前方の対向車



図1-2
停止位置に到達寸前の対向車



図1-3
200m前方の停止車両



図1-4
停止車両に到達寸前の自転車

実験1の結果

得られた測定値から過大・過小評価率を以下のように求めた。

$$\text{過大・過小評価率} = \frac{\text{実速度} - \text{推定速度}}{\text{実速度}} \times 100$$

1. 走行速度は全体的に過小評価された（図5～図12）。
2. 光学的流れがない条件における速度の過小評価率は、運転経験の水準にかかわらず光学的流れがある条件より増加した（図6，図8，図10，図12）。
3. 光学的流れがある条件では、運転経験の豊富な被験者は物理的な速度を正確に推定したが、運転経験の少ない被験者は物理的な速度を正確に推定できなかった（図6，図8，図10）。

まとめ

1. 対向車の速度推定（光学的流れのない条件）に関して、運転経験の水準にかかわらず、被験者は物理的な速度を正確に把握できなかった。
2. 自転車の速度推定（光学的流れのある条件）において、被験者は対向車の速度推定よりも、物理的速​​度に対しより正確に対応した。
3. 運転経験の水準によって視環境の物理的速​​度に対応する仕方が異なっていることが明らかになった。
4. 速度推定に重要な知覚情報として働いているのは、視環境の光学的流れである。

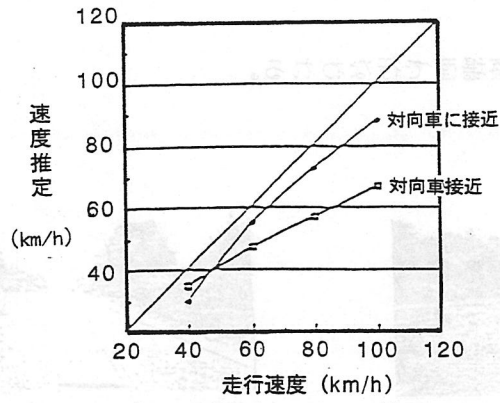


図1-5 速度推定の比較 (熟練者)

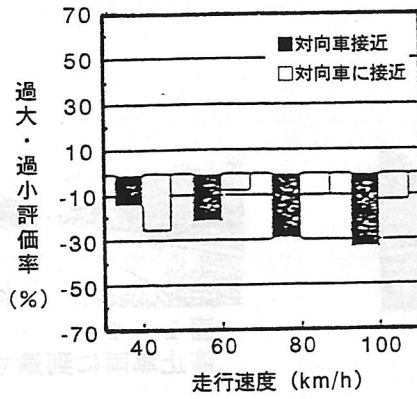


図1-6 過大・過小評価率の比較 (熟練者)

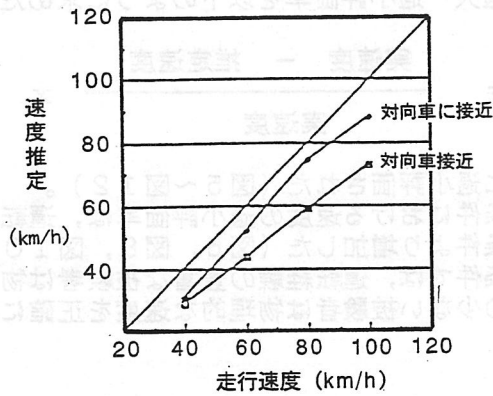


図1-7 速度推定の比較 (初心者)

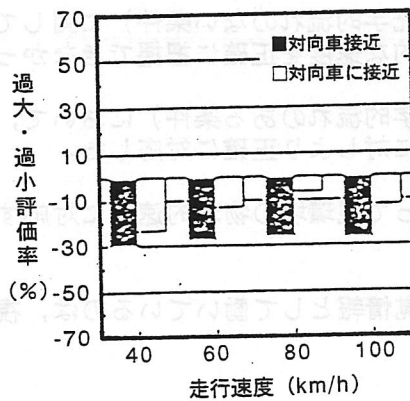


図1-8 過大・過小評価率の比較 (初心者)

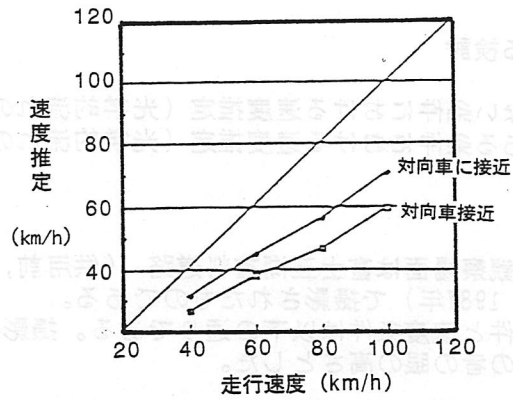


図1-9 速度推定の比較 (免許無し)

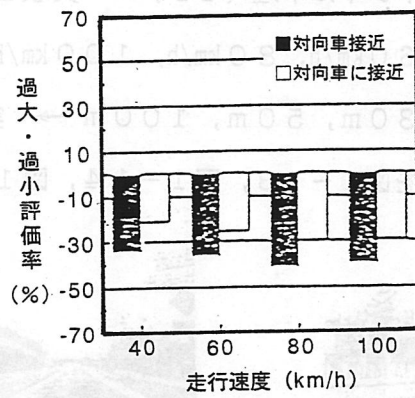


図1-10 過大・過小評価率の比較 (免許無し)

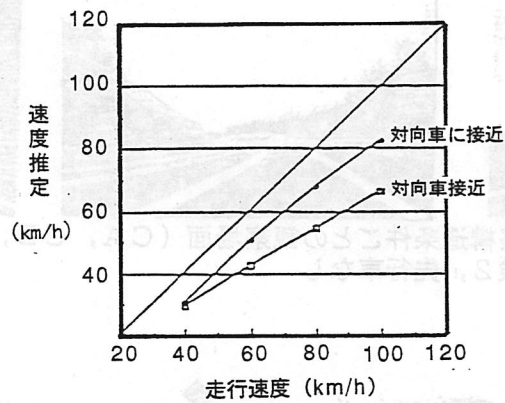


図1-11 速度推定の比較 (全平均)

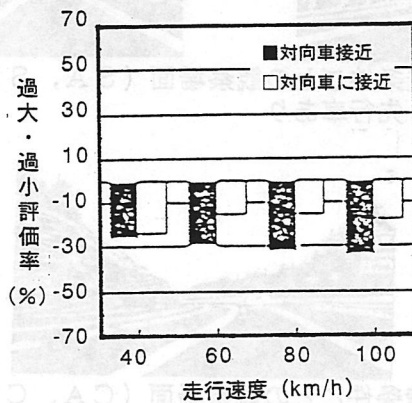


図1-12 過大・過小評価率の比較 (全平均)

II 先行車の有無による検討

実験2：先行車のない条件における速度推定（光学的流れのある条件）

実験3：先行車のある条件における速度推定（光学的流れのある条件）

方法

本実験に用いられた観察場面は富士五湖有料道路（供用前，須坂料金所－山中湖IC区間，区間長約8km，1987年）で撮影されたものである。

撮影時の道路構造条件と速度条件は以下の通りである。撮影用のカメラの位置は普通乗用車を運転する運転者の目の高さとした。

道路構造条件：直線上り（SA），直線下り（SD），カーブ上り（CA），カーブ下り（CD），トンネル平坦（TF）→ 実験2，実験3。

走行速度条件：40km/h，60km/h，80km/h，100km/h → 実験2，実験3

先行車までの車間距離：30m，50m，100m → 実験3

各道路構造条件の観察場면을図1-13，図1-14，図1-15，図1-16に示す。



図1-13 道路構造条件ごとの観察場面（SA，SD）
実験2，先行車なし



図1-14 道路構造条件ごとの観察場面（CA，CD，TF）
実験2，先行車なし



図1-15 道路構造条件ごとの観察場面（SA，SD）
実験3，先行車あり



図1-16 道路構造条件ごとの観察場面（CA，CD，TF）
実験3，先行車あり

実験3で用いられた、先行車までの車間距離を図1-15に示す。

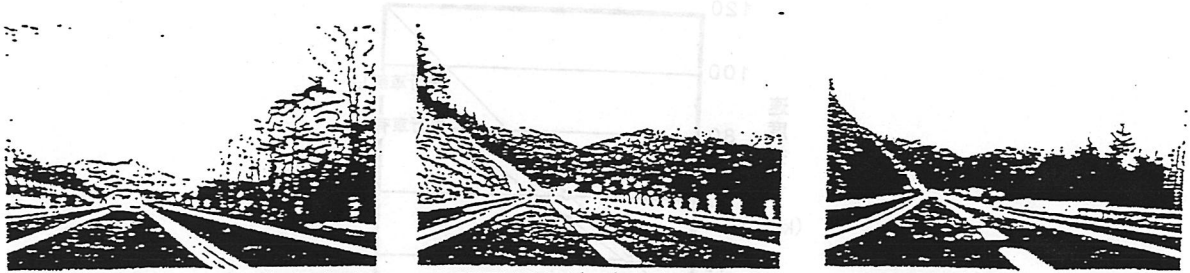


図1-17 先行車までの車間距離条件(30m, 50m, 100m)

被験者は実験1と同一の16人である。

手続

被験者は実験1と同様にモニター-TV(37インチ)前に設置された運転座席の椅子に座りビデオ走行画面を観察する。観察距離は約90cm($VA = 42^\circ$)である。観察条件を視覚情報のみに限定し、画面からの音声は出ないのは実験1と同様である。予め予備観察場面(4種類)を観察した後に実験用観察場面が、10秒間ランダムに提示される。被験者は10秒間、画面を観察した後でその時の「みかけの」速度を推定し、5km単位で実験者に報告する。実験者はそれを所定の記録用紙に記入する。観察場面によって判断が難しい場合は同一の場面を再度提示する。実験は被験者の疲労を考慮しながら20分程度を区切りに3回に分けて行なう。実験は半暗室条件で行なう。

実験2, 3の結果

得られた測定値から過大・過小評価率を求めた。

1. 実験1と同様に走行速度は全体的に過小評価された。さらに、速度の増大により過小評価の傾向が大きくなることを示した(図1-18~図1-25)。
2. 先行車がある条件は、先行車がない条件よりも、速度の過小評価が顕著であった(図1-18~図1-25)。
3. 先行車がないときの上り条件は、速度がより過小評価されたが、先行車があるときの下り条件は、速度がより過小評価された(図1-26~図1-29)。
4. 実験2と実験3の過小評価の差の程度は、運転経験の豊富な被験者において顕著であり、運転経験が少なくなるにつれてこの差は減少した(図1-18~図1-25)すなわち、運転の経験水準によって、先行車の出現に関する意味の理解の仕方が異なった。

まとめ

1. 先行車の出現が運転経験の豊富な被験者にとって速度を規定する視覚的要因として働いている。
2. 運転経験の少ない被験者にとっては先行車の出現は速度を規定する要因として十分に働いていないことが明らかになった。
3. 先行車のある条件が速度をより過小評価することについて、これまでの研究から注意の問題、図と地の問題との関連性が考えられる。

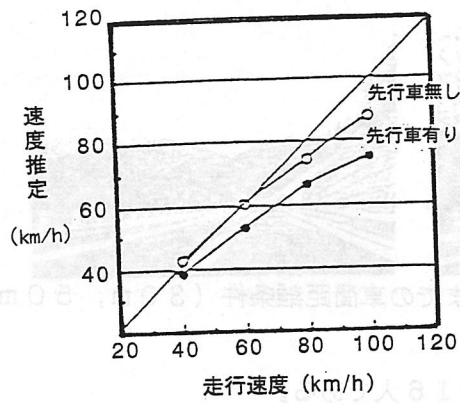


図1-18 速度推定 (先行車有無、熟練者)

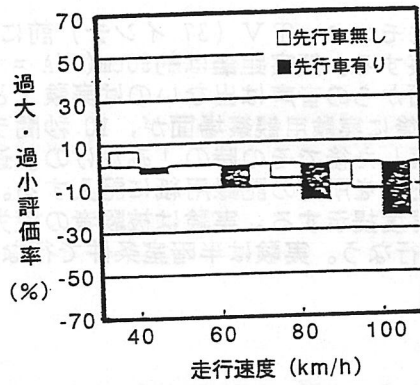


図1-19 過大・過小評価率 (先行車有無、熟練者)

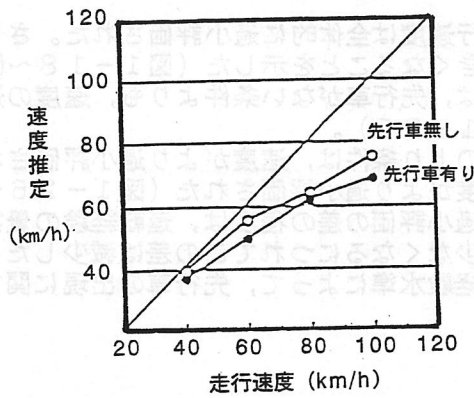


図1-20 速度推定 (先行車有無、初心者)

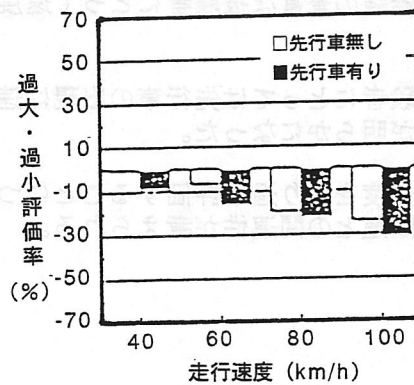


図1-21 過大・過小評価率 (先行車有無、初心者)

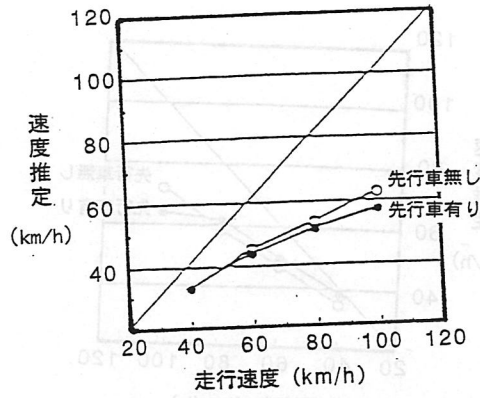


図1-22 速度推定 (先行車有無、免許無し)

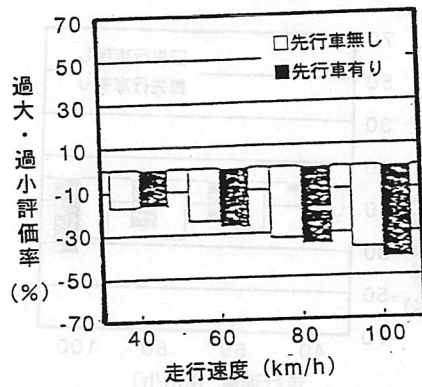


図1-23 過大・過小評価率 (先行車有無、免許無し)

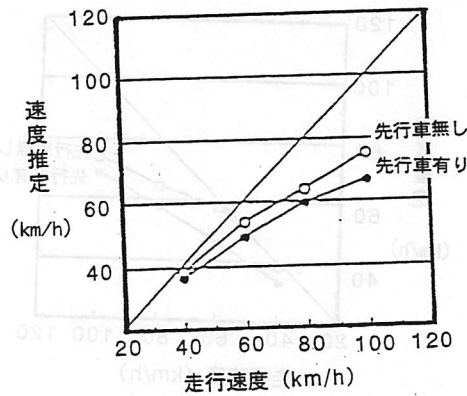


図1-24 速度推定 (先行車有無、全平均)

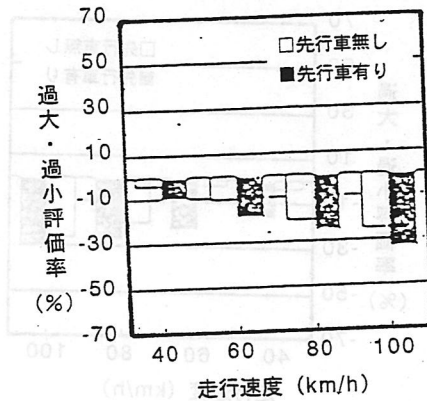


図1-25 過大・過小評価率 (先行車有無、全平均)

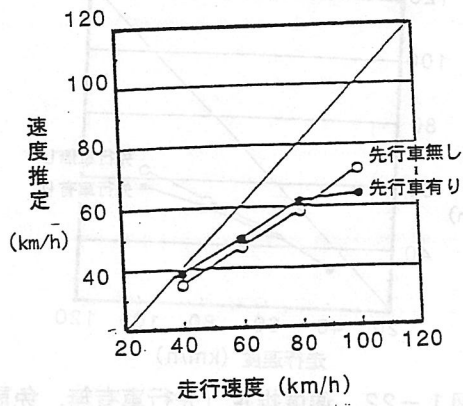


図1-26 速度推定 (先行車有無、上り)

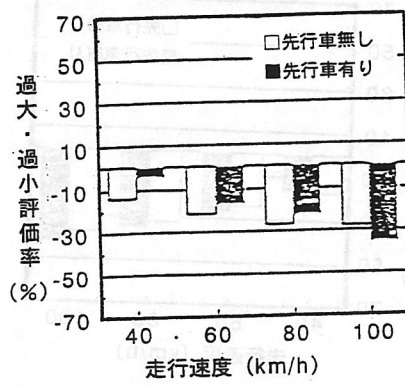


図1-27 過大・過小評価率 (先行車有無、上り)

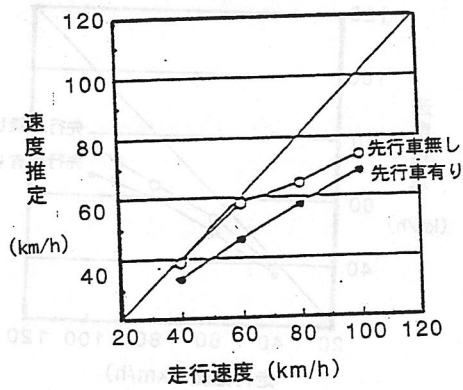


図1-28 速度推定 (先行車有無、下り)

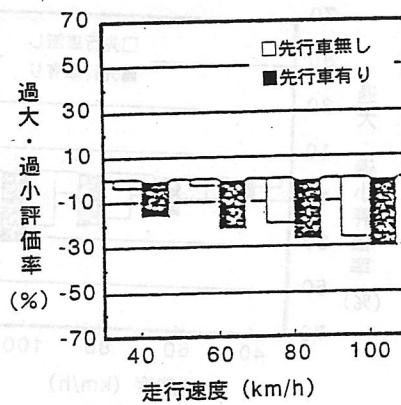


図1-29 過大・過小評価率 (先行車有無、下り)

(2) 距離知覚に関する実験 (VTR参照)

運転者にとって速度、距離及び時間の的確な知覚は安全運転のために重要な要件となる。特に、一般道路のみならず高速道路で、さまざまな速度で先行車との特定の距離を保持する状況において、運転者は車間距離と走行速度との関係把握という知覚的課題に直面する。

これまでは、動態視環境における速度知覚についてさまざまな角度から検討を加えてきた。その結果、観察者の走行中の知覚世界が必ずしも客観的・物理的世界と対応しないことを示した。このことは走行中の車間距離の知覚についてもあてはまると考えられる。

車間距離の知覚は、走行中に運転者の保っている車間距離がどの程度正確か、そして、車間距離の知覚が条件によってどのように変化するかという点において重要である。このことは、高速走行中の安全な車間距離の保持、先行車への追従走行から追い越し時の安全な車間距離の見積りなどの運転行動に直接かかわりあっている。さらに、熟練者か、初心者かといった運転経験の違いによって、走行速度に対応する車間距離の知覚がどのように異なるかも問題になる。本実験では実験3と同じ条件の視環境で走行中の車間距離知覚について、自車から先行車までの車間距離の推定を行なった。実験変数として、車間距離条件、走行速度条件、道路構造条件、運転経験の水準を設定した。

実験4 - 先行車までの車間距離の推定

実験条件は実験3と同一である。

実験4の結果

得られた測定値から過大・過小評価率を求めた。

本実験の結果を車間距離ごとに熟練者と初心者について以下のように比較する。

車間距離 30m: 低速走行条件(40-60km/h)では各群ともにその車間距離は過小評価されるが、高速走行条件(80-100km/h)では、初心者群は過大評価の傾向を示した(図2-1~図2-4)。

車間距離 50m: 熟練者の推定は、ほぼ実際の車間距離に近い値を示した。しかし、走行速度の増加にともない車間距離を過大評価する傾向が見られた。初心者はこの過大評価の傾向が熟練者よりも大きく、その過大評価率は約5%から25%の範囲であった(図2-1~図2-4)。

車間距離 100m: 熟練者、初心者は、ともに車間距離を過小評価したが、走行速度が増大するにつれてその過小評価率は減少した。初心者においては、過小評価の傾向が顕著であった(図2-1~図2-4)。

まとめ

1. 走行速度が遅い条件と車間距離が長くなる条件では、車間距離を過小評価する(実際の車間距離を短く見積もってしまう)傾向が生じた。
2. 低速走行条件や遠距離条件での車間距離知覚は、初心者はいうに及ばず、熟練者にとっても困難であった。
3. 運転経験の違いによって、知覚される車間距離が異なることが示された。すなわち、熟練者はどちらかといえば、走行中に車間距離を安全な方向への推定(実際の車間距離に近似した推定)する傾向があったが、初心者(過大評価)、免許のない被験者(過小評価)は熟練者とは異なった推定の仕方をした。

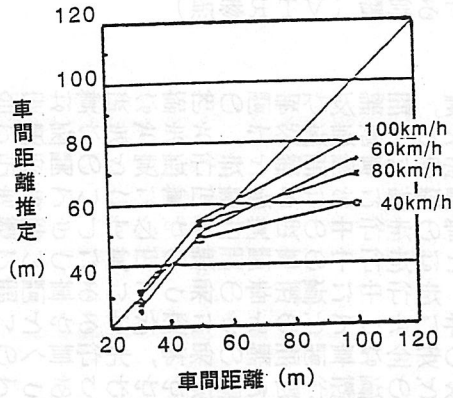


図 2-1 車間距離推定 (熟練者)

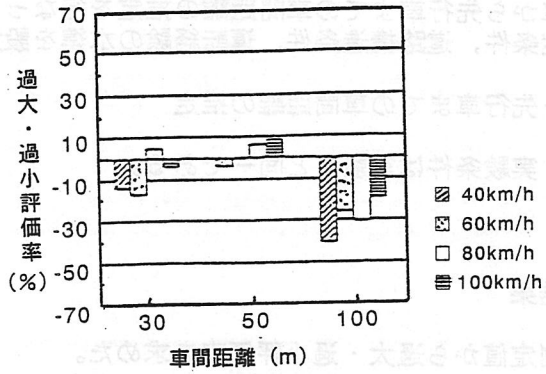


図 2-2 車間距離推定誤差 (熟練者)

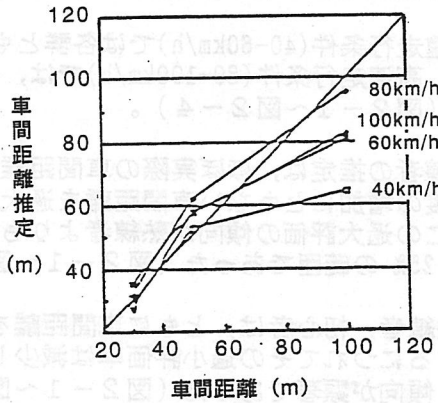


図 2-3 車間距離推定 (初心者)

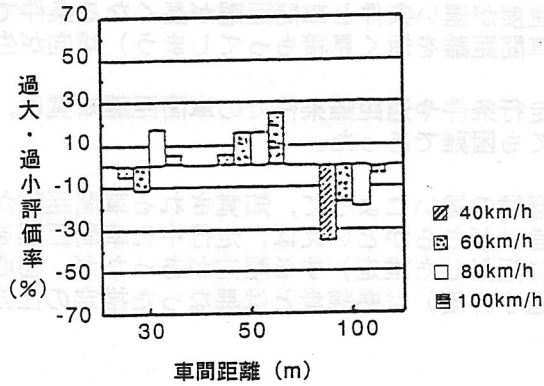


図 2-4 車間距離推定誤差 (初心者)

(1) 車間距離推定の精度

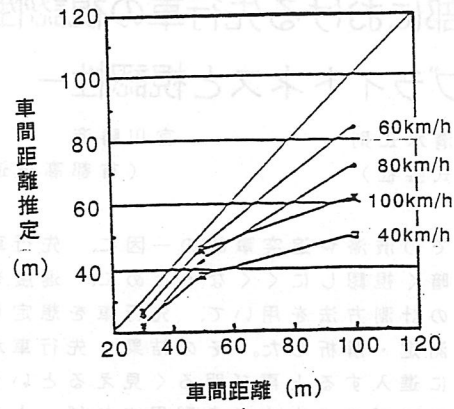


図2-5 車間距離推定 (免許無し)

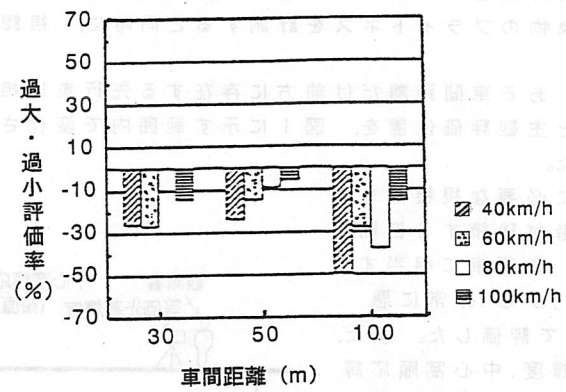


図2-6 車間距離推定誤差 (免許無し)

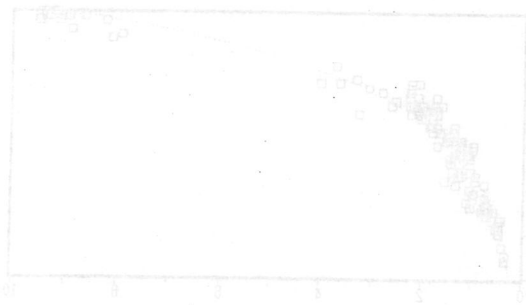


図2-7 推定車間距離と実車間距離の関係

本研究では、免許無し運転者の車間距離推定精度を評価するために、実際の車間距離と推定された車間距離の関係を調査した。図2-5に示すように、推定された車間距離は実際の車間距離よりも一般的に大きくなる傾向が観察された。これは、運転者が前方車両との距離を過大に推定する傾向があることを示唆している。また、図2-6に示すように、推定誤差は実際の車間距離が増えるにつれて減少する傾向が観察された。これは、実際の車間距離が増えるにつれて、運転者の推定精度が向上することを示唆している。

また、図2-7に示すように、推定された車間距離と実際の車間距離の関係を調査した結果、推定された車間距離は実際の車間距離よりも一般的に小さくなる傾向が観察された。これは、運転者が前方車両との距離を過小に推定する傾向があることを示唆している。また、図2-6に示すように、推定誤差は実際の車間距離が増えるにつれて減少する傾向が観察された。これは、実際の車間距離が増えるにつれて、運転者の推定精度が向上することを示唆している。

71.トンネル入口部における先行車の視認性(その1)

—ブライトネスと視認性—

武内 徹二 清水 正則
(松下電器産業株式会社)

宮川 勝海 小林 浩之
(首都高速道路公団)

はじめに 道路トンネルの入口付近での渋滞や追突事故の一因に、先行車がトンネルに進入した直後、後続する車の運転者が、先行車が急激に暗く視認しにくくなるために、速度を緩めるといふことがある。

吉村らは、猪野原らのブライトネスの計測方法を用いて、先行車を想定した対象物がトンネルに進入したときの対象物のブライトネスの変化を測定・解析した。その結果、先行車が屋外からトンネルに進入した直後に暗く見え、後続車がトンネル入口に進入すると再び明るく見えるという現象をブライトネスによって定量的に表わせることを明らかにした。このブライトネスを利用すれば、トンネル入口部での先行車の視認性の改善を定量的に検討できる可能性がある。このためには、まずブライトネスの変化が、トンネル入口部で実際に感じられる先行車の視認性とどのような関係にあるかを明らかにする必要がある。今回、トンネル入口部で先行車を想定した対象物のブライトネスを計測すると同時に、視認性を主観評価し、それらの相関関係を実験的に検討した。

■実験 トンネル入口部で、ある車間距離だけ前方に存在する先行車に相当する視標(70×140[cm]、反射率15[%]の無彩色)の設置位置と主観評価位置を、図1に示す範囲内で変化させ、ブライトネスの測定と同時に視認性の主観評価を行なった。

観測者には自動車の運転に必要な視機能を有する成人9名を用い、観測者が後続する自動車の運転者であると想定して、先行車に相当する視標の視認性を「非常によい」から「非常に悪い」までの7段階評定尺度法で評価した。また、観測時に計測した等価光幕輝度、中心窩順応輝度、対象物輝度からブライトネスを算出した。

■結果とまとめ 主観評価とブライトネスの計測結果との関係を図2に示す。図2においてブライトネスが高いときに主観評価値が飽和する傾向を示すが、これはトンネル坑口0m地点(屋外)にある視標を、トンネルの外(屋外)から評価した場合であり、評価尺度の上限が官能評価上のアンカーとして固定されているためである。

図2からブライトネスの測定値と、先行車の視認性の主観評価値は一定の相関関係を示すことが見て取れる。つまり、先行車の視認性は、単なる先行車の明るさのファクター以外の要因をも含む人間の高次な判断ではあるが、ブライトネスが先行車の視認性の評価の指標たり得ると言うことである。例えば、今回の実験条件において、トンネル内のブライトネスが約1.5であれば先行車の視認性が「よくも悪くもない」という評価になる。

これより、トンネル入口部での先行車の視認性の改善は、先行車のブライトネスによって定量的に検討できると考えられる。

参考文献

- 1) 吉村 他:トンネル入口部における先行車のブライトネス.第26回交通眼科学会.p.45(1984)
- 2) M.Inohara, et al.:Scaling of brightness of an object seen in complex luminance fields. CIE Pub. No.56.p.E33/1(1983)

Visibility of a proceeding car in the tunnel access zone in the daytime.:
Tetsuji Takeuchi, Masanori Shimizu, Katsumi Miyagawa, Hiroyuki Kobayashi

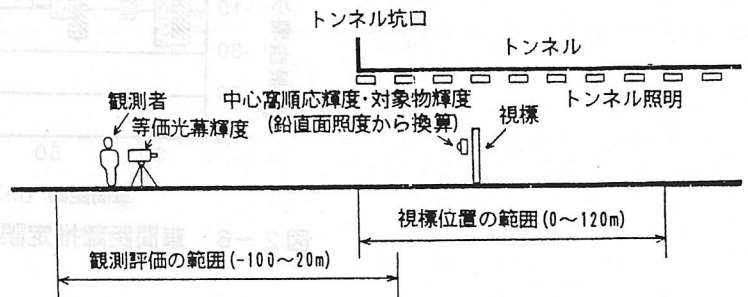


図1 実験の配置

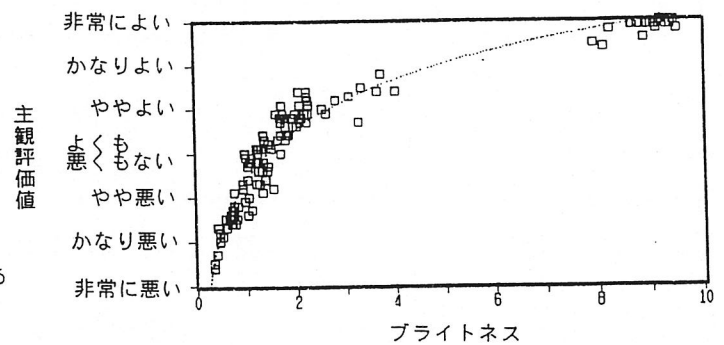


図2 主観評価値とブライトネスの関係

72.トンネル入口部における先行車の視認性（その2） —視認性の改善に関する検討—

山中泰彦 坂本正悦
(松下電器産業株式会社)

宮川勝海 小林浩之
(首都高速道路公団)

■はじめに 都市内高速道路など交通量が大きい道路では、トンネル入口部における先行車の視認性低下が、走行速度の低下や渋滞など円滑な交通を妨げる原因の一つと考えられている。先行車のブライトネスを改善することにより、視認性が向上することが武内ら¹⁾によって明らかにされており、ブライトネスを改善するためには先行車の背面の鉛直面照度を高めることが有効と考えられる。そこで今回、実走行を想定した運転者の眼の順応条件におけるブライトネスをもとに、現行のトンネル入口照明（設計速度80 km/h）に鉛直面照度を高める照明を増加させた場合について、鉛直面照度と先行車の視認性との関係を明らかにしたので報告する。

■解析方法 現行のトンネル入口照明のもとでの先行車のブライトネスと、これに一定の鉛直面照度を増加させた場合のブライトネスを算出した²⁾。ブライトネスの算出に必要な等価光幕輝度、中心窩順応輝度、対象物輝度は、トンネルの南向き坑口付近における測定データに基づいて設定した。野外輝度は測定時の条件（3000 cd/m²）とし、先行車までの車間距離は、50、100 mの2条件とした。ブライトネスの算出要素は以下の通りである。

- ・等価光幕輝度：測定値。輝度計の光軸は地上高さ1.2 m、水平（進行）方向とした。
- ・中心窩順応輝度：トンネル坑口手前40 m付近の路面輝度（測定値）とした。
- ・対象物輝度：先行車の背面の反射率を20%（完全拡散面）と仮定し、地上高さ70 cmの鉛直面照度の測定値から計算により求めた。鉛直面照度は、自然光による照度と人工照明による照度（現行の入口照明、あるいは鉛直面照度を増加させた場合）の和として求めた。

■結果とまとめ 現行のトンネル入口照明における先行車のブライトネスと、トンネル坑口から車間距離に相当する区間について鉛直面照度を1000 lx増加させた場合のブライトネスを図1に示す。車間距離の3分の1から3分の2程度の距離だけ先行車がトンネル内に進入したとき、先行車のブライトネスが最も低下するが、鉛直面照度を増加することにより、ブライトネスの低下を抑制することができる。ブライトネスが最も低下する先行車位置において、現行のトンネル入口照明と、これに鉛直面照度を増加させた場合の先行車のブライトネスを表1に示す。表中の主観評価値は、ブライトネスと主観評価値との関係¹⁾をもとに求めたものであり、7段階評定尺度法の各評価値はそれぞれ、7：非常によい、6：かなりよい、5：ややよい、4：よくも悪くもない、3：やや悪い、2：かなり悪い、1：非常に悪い、を示す。

野外輝度3000 cd/m²、車間距離100 mの場合、鉛直面照度を1000 lx増加することにより、視認性の主観評価値が1～2段階改善されることが明らかになった。

以上より、トンネル入口部における先行車の視認性改善を目的とした、鉛直面照度を高める増灯照明が有効であることが分かった。

参考文献

1) 武内ほか：トンネル入口部における先行車の視認性（その1）、平成7年照学全大

2) M. Inohara et al.: Scaling of brightness of an object seen in complex luminance fields, CIE Pub. No. 56, p. E33/1 (1983)

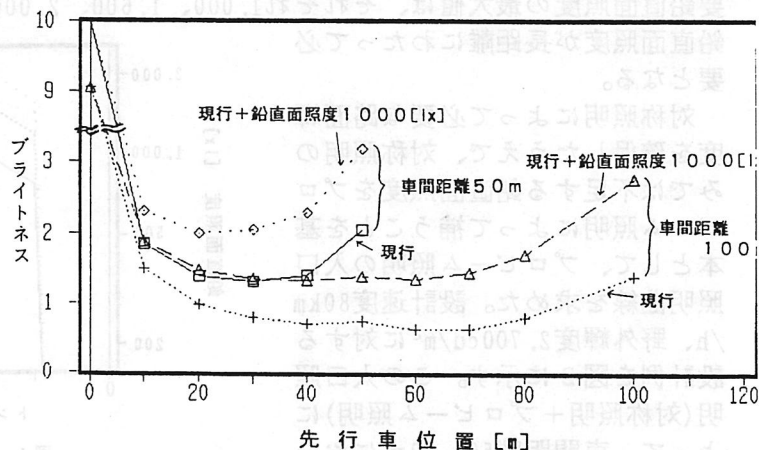


図1 先行車の位置とブライトネスの関係（野外輝度 3000 [cd/m²]）

表1 ブライトネスが最も低下する先行車位置での鉛直面照度とブライトネス、視認性との関係（野外輝度 3000 [cd/m²]）

車間距離	鉛直面照度	ブライトネス	主観評価値
50 m	現行の入口照明	1.3	3.9
	現行+1000 [lx]	2.0	4.6
	現行+2000 [lx]	2.6	5.0
100 m	現行の入口照明	0.6	2.6
	現行+1000 [lx]	1.4	4.0
	現行+2000 [lx]	2.0	4.6

(注) ブライトネスが最も低下する位置とその位置での現行の入口照明による鉛直面照度

車間距離 50 m: トンネル内30 m、870 [lx]

車間距離 100 m: トンネル内70 m、640 [lx]

プロビーム照明の開発

—トンネル入口部における先行車の視認性を改善—

坂本正悦 山中泰彦
(松下電器産業株式会社)

浅見真一 武田裕之
(首都高速道路公団)

1. はじめに：都市内高速道路のように、交通量が多く十分な車間距離が確保しにくいトンネルにおいては、運転者の視野の一部を先行車が占めることが多い。特に走行速度が高い場合には先行車の視認性を確保することが重要である。今回、先行車の背面を積極的に照明することによって鉛直面照度を高め、その視認性を改善する新しい照明方式(これをプロビーム照明と呼ぶ)を開発した。

2. プロビーム照明の入口照明曲線：プロビーム照明を具体的に設計するためには、この照明で実現すべき所要鉛直面照度の入口照明曲線を明らかにする必要がある。先行車の視認性と鉛直面照度との関係は、山中ら¹⁾によって検討されている。この結果は、先行車の視認性を7段階の主観評価で表わし、ブライトネスとの関係から導かれた²⁾。

これらの検討結果をもとに、車間距離をパラメータとして、トンネル入口からの距離(先行車の位置)と鉛直面照度との関係を求めた。その結果を図1に示す。なお、図1は、現行の対称照明による「主観評価値3：先行車の視認性がやや悪い」を、「4：良くも悪くもない」に改善するための人工照明による所要鉛直面照度であり、野外輝度 $2,700\text{cd/m}^2$ (設定野外輝度 $4,000\text{cd/m}^2$)における坑口からの自然光の入射による鉛直面照度を差し引いたものである。図1から、車間距離50、80、110mに対し、所要鉛直面照度の最大値は、それぞれ1,000、1,600、2,000lxとなった。車間距離が長くなるほど、高い鉛直面照度が長距離にわたって必要となる。

対称照明によって必要な路面輝度を確保したうえで、対称照明のみでは不足する鉛直面照度をプロビーム照明によって補うことを基本として、プロビーム照明の入口照明曲線を求めた。設計速度 80km/h 、野外輝度 $2,700\text{cd/m}^2$ に対する設計例を図2に示す。この入口照明(対称照明+プロビーム照明)によって、車間距離50、80mにおいて、それぞれ主観評価値4.6、4.0が確保できる。

3. まとめ：プロビーム照明の要件を検討し、これをもとに入口照明曲線を提案した。この曲線を実現することにより、先行車の視認性が改善でき、運転者のトンネル進入時の不安感の軽減にも効果を発揮することが期待される。今後は、プロビーム照明を実際のトンネルに設置し、その効果を検証していきたい。

<参考文献>

- 1) 山中ほか：トンネル入口部における先行車の視認性(その2)，照学全大(1995)
- 2) 武内ほか：トンネル入口部における先行車の視認性(その1)，照学全大(1995)

Pro-beam Lighting for Tunnel Entrance Zone, S.SAKAMOTO, Y.YAMANAKA, S.ASAMI, H.TAKEDA

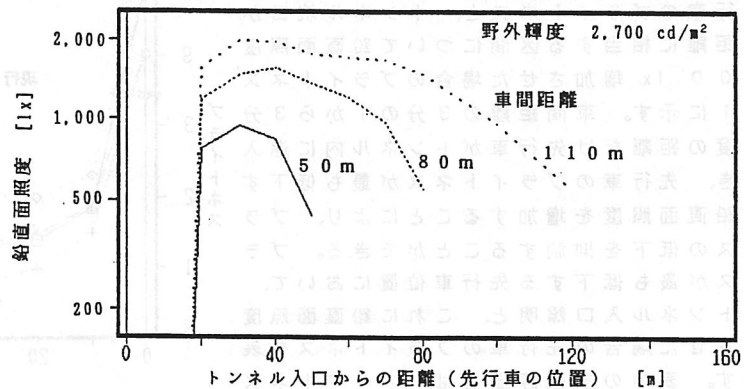


図1 主観評価値4を得るための所要鉛直面照度

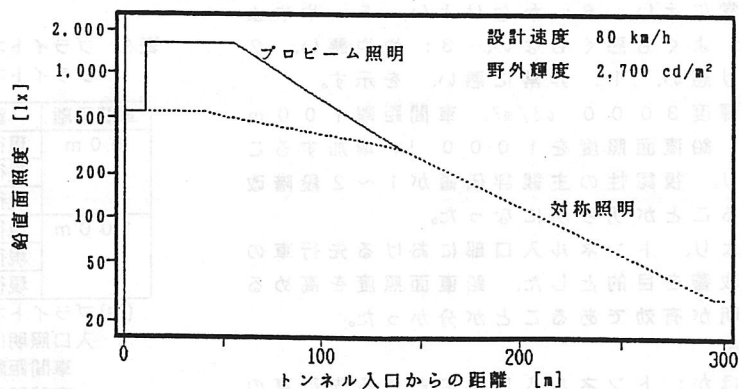


図2 プロビーム照明の入口照明曲線(設計例)

自動車灯火の技術動向

横井清和（日本自動車研究所）

1. まえがき

自動車用灯火は道路や屋内の灯火とは異なり、個々の器具の配光、色、取付個数、取付位置等が法令や規格（以下、基準と呼ぶ）で定められている。したがって、新しい灯火が普及されるまでには技術開発→基準制定→普及（実用化）の段階を経ることになる。そこで、自動車灯火の動向を見るためには技術動向と基準制定の進展の両者を見る必要がある。最近の灯火器や灯火用装置をこのような段階別に分けると表1に示すようになる。表1には過去に提案されたが実現しなかった灯火についても示した。以下にこの表の各項目について述べる。

表1 自動車灯火の動向

	開発中	基準化中	普及中	休止中
照明用	紫外線併用 ヘッドランプ	HIDヘッド ランプ	プロジェクタ式ヘッドランプ コーナリングランプ	3段切り替え式 前照灯 ハンドル連動 前照灯
信号用	ネオン ストップランプ LED ストップランプ	大型 トラック マーキング	ハイマウントストップランプ データータイムランニングランプ リヤフォグランプ リターダ・ストップランプ	青緑尾灯 減速度表示 制動灯 加減速表示灯
その他	ライトエンジン	新型バルブ	ヘッドランプ レベリング装置	
基準調和の進展	未着手	検討開始～ ほぼ終了	終了	未検討 または過去に おいて却下

2. 技術開発中の灯火

技術開発が進められている灯火として以下のものがある。これらの技術開発が進み実用化が見込まれるようになると、基準化が行われることになる。

2. 1 紫外線併用ヘッドランプ

下向きのヘッドランプで現在以上に遠方を照射しようとする時、対向車へのまぶ

しさがはげしくなり、問題を生ずる。そこで、まぶしさを与えない紫外線を利用して遠方の視対象を見えるようにすることを目的としたヘッドランプが開発されている。白い服地には蛍光物質が含まれているので、歩行者の被視認性が高まる。また、道路ペイントや自転車塗料に蛍光物質を含ませることも可能なので、夜間の視認性向上に役立つものと思われる。図1および図2は同じ場面の前方の視対象の見え方の違いを示している。なお、図は右側通行用の道路である。

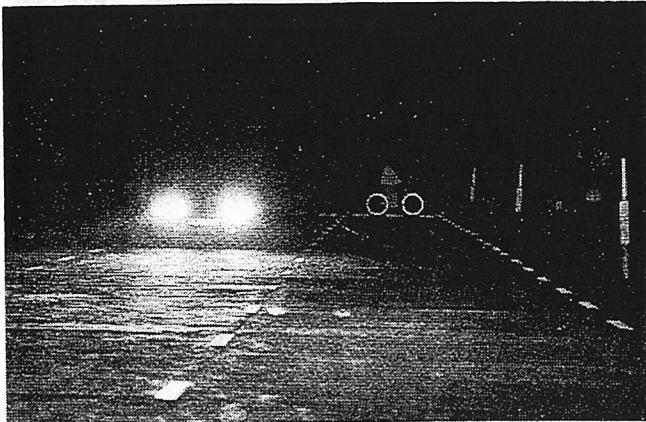


図1 紫外線併用ヘッドランプ



図2 通常のすれ違いビーム

2. 2 ネオン, LEDストップランプ

現在は白熱電球を使用している。白熱電球では、立ち上がりには0.2秒程度かかる。ネオンやLEDを使用すると、これが、0.1秒以下になり、急ブレーキのときなどに役立つと言われている。

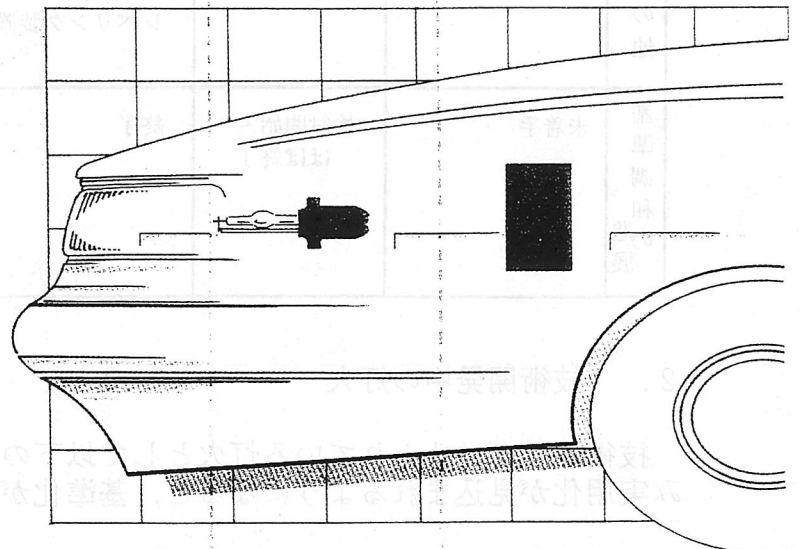
2. 3 ライトエンジン

現在の車両は灯火器やメーター照明等に多数の電球を使用している。効率の良い光源を使用して、必要なところへガラスファイバーで送る装置が開発されている。

3. 基準化の段階の新型灯火器

3. 1 HIDヘッドランプ

HIDヘッドランプ(図3)はイグナイター内蔵のDCタイプの放電灯として登場したが、その後、ACタイプのD1, D2が開発され、現在は紫外線をカット



Scheinwerfer 灯具
Lichtquelle 光源
Vorschaltgerät 電子バラスト

図3 HIDヘッドランプ

するD2Sが実用化に有力視されている。

これらはメタルハライドランプであり、その特徴は発光効率が良いことと小型化できることである。発光効率についてはハロゲンランプの3～5倍といわれているが、現在は35wのD2Sが55wのハロゲンランプの2倍の光量を出すよう開発されている。

すでにCIEでは基準を提案しており、ドイツの自動車メーカーに採用され、高齢ドライバーや雨天時の使用に優れていると評価されている。わが国ではまだこのランプを自動車に使用することはできない。このランプの基準の審議がまだ終了していないためである。しかし、国際基準がまもなく制定される予定であり、この国際基準を取り入れた基準がわが国でも制定され、今年度中にもこれを装着した車両が発売されるものと思われる。

なお、このランプは対向車へのまぶしさ対策として、レベリング装置とランプ洗浄装置を装着することが義務づけられる。

3. 2 その他

夜間の大型トラックの被視認性を増すため、車体後面や側面に反射テープで大きくマーキングすることが提案されている。また、新型のバルブが毎年基準に加えられている。

4. 普及中の新型灯火器

4. 1 ハイマウント・ストップランプ

ストップランプを補助する目的で車両後面の中心線で通常のストップランプより高い位置に取り付けられる。米国で事故防止効果の研究がなされ、1985年に義務付けられた。わが国ではまだ装着は義務づけられていないが、多くの車両に普及して来ており、希望すればほぼ全ての車に取り付けることが出来る。

欧州ではこれを装着することは禁止されていたが、近年、後述する基準調和が行われ、欧州でも装着することができるようになった。

4. 2 データイムランニングランプ

スウェーデン等の北欧諸国やカナダでは装着が義務づけられている。このランプは昼間に点灯し、車両の目立ち易さを増加させることを目的としている。薄暮の多い地域では実用的と考えられる。CIEでは基準を提案しており、後述する基準調和も終了した。オランダではこのランプの装着を義務付けようとしたが、明るい昼間にもランプを点灯することの違和感や自転車等が相対的に見にくくなる等の理由で反対も強く、結論が出ていない。米国では装着することは認められている。GMがこのランプを採用することを決めたため、今後増加する可能性がある。

4. 3 コーナリングランプ

最近わが国で増加しつつあるランプとして、右左折するときにターンシグナルと

連動して点灯するコーナリングランプがある。これは前照灯の照射範囲の左右の外側を照射することを目的としている。

4. 4 リヤフォグランプ

輸入車には非常に明るい尾灯のようなランプが点灯されていることがある。これは、リアフォグランプで、霧のときに後続車から見られやすくすることを目的としている。良い天候条件のときは消灯しなければならないが、消し忘れがあり、後続車に迷惑となっていることがある。後述の基準調和の場では消し忘れ防止対策が検討されている。

4. 5 プロジェクタ式ヘッドランプ

これは小型楕円反射鏡とコリメータレンズを使用した構造で明瞭なカットオフ（明暗境界線）が作れることが特徴である。近年多くの車両に採用されるようになった。

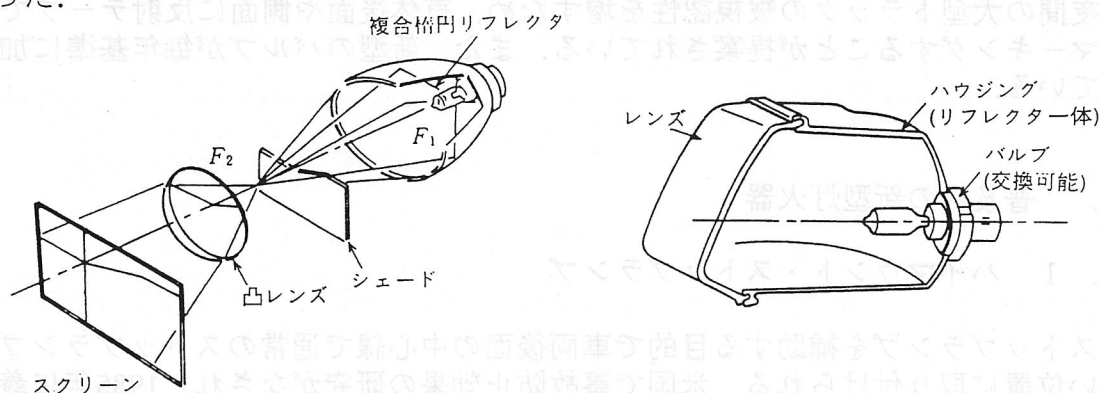


図 4 プロジェクタタイプ（左）とバルブ交換タイプのヘッドランプ

4. 6 リターダ作動時のストップランプの点灯

大型トラックではブレーキとは別に減速装置（リターダ）が用いられている。乗用車のエンジンブレーキよりも強力なので、これを操作したときに後続車にブレーキ信号を伝える必要があることから、リターダ作動時のストップランプ点灯が行われるようになった。下り坂ではブレーキランプの点灯が増加し、後続車にわずらわしい面がある。

4. 7 ヘッドランプレベリング装置

乗用車のトランクに荷物を積むと車体姿勢が上向きになり、ヘッドランプの光軸が上を向き対向車に強いまぶしさを与えることがある。これを防止するため、ヘッドランプの光軸を下方に調整する装置をレベリング装置と呼んでいる。わが国でも10年以上まえから実用化されている装置であるがあまり普及していない。ヘッドランプの明るさが増大しているの今後には必要性が高まるものと思われる。

5. 休止中の新型灯火器

交通安全に貢献すると思われる新型灯火器の提案が以下に述べるようにいくつかある。現在のところ、これらの灯火の安全性向上効果を評価する方法がないので、実用化に向けた努力はなされていない。今後安全性を評価し、実現することが望まれる。

5. 1 3 段切り替え式前照灯

現在の前照灯は走行ビーム（上向き）とすれ違いビーム（下向き）の 2 段切り替え式である。この中間のビームを作り、高速道路や中央分離帯に防眩施設があるような道路で使用しようとの提案がある。

5. 2 青緑尾灯

自動車の現在の尾灯は制動灯と同じく赤色である。尾灯の色を青緑に変更し、制動灯の赤色を目立つようにする提案である（図 5）。尾灯の色を青緑ではなくとも、制動灯とは別にすると高速道路における玉突追突の防止に役立つものと思われる。

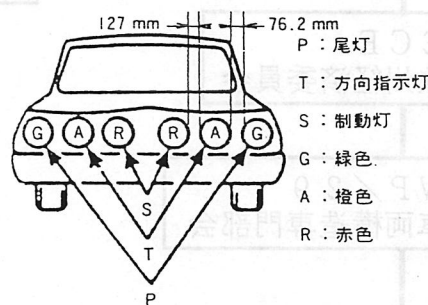


図 5 モーチマーの後部灯火器改善提案

5. 3 減速度表示制動灯

現在の制動灯は点灯と消灯だけを表示しているが、これを強い制動の場合にはすばやく点滅させる等の減速度の表示を追加しようという提案である。

5. 4 加減速表示灯

後続車ドライバーに加速中、定速走行中、減速中の信号を伝えるランプを装着させようとの提案である。

5. 5 ハンドル連動前照灯

前照灯の光軸は車体の向きと同一であることと定められているが、これをハンドルと連動させ、カーブで進行方向を照射できるようにしようとの提案である。

6. 基準調和活動

各国はそれぞれ自動車灯火の基準を持っている。しかし、国際的な人の往来が増加していることや自動車が国際的商品となっていることから、各国がばらばらの基準では問題を生ずる。そこで、図 6 に示すような機関で国際的な基準を作る努力がなされている。しかしながら、世界的に統一した基準にすることは困難なので、お互いの基準をできるだけ共通化する方向で活動が行われている。これを基準調和活

動と呼んでいる。

現在では、一つの国が独自の基準を新たに作ることは国際的な摩擦を引き起こす。新型灯火器については、技術開発が完成してもそれだけでは実用化はできず、世界的な基準化の手続きを経て、すなわち、各国の合意を得て、はじめて実用化できる。したがって、基準調和の場で発言権を持つことは重要である。わが国は灯火器の安全性の研究を推進し、基準調和活動に貢献することが必要と考えてこの活動に積極的に参加している。

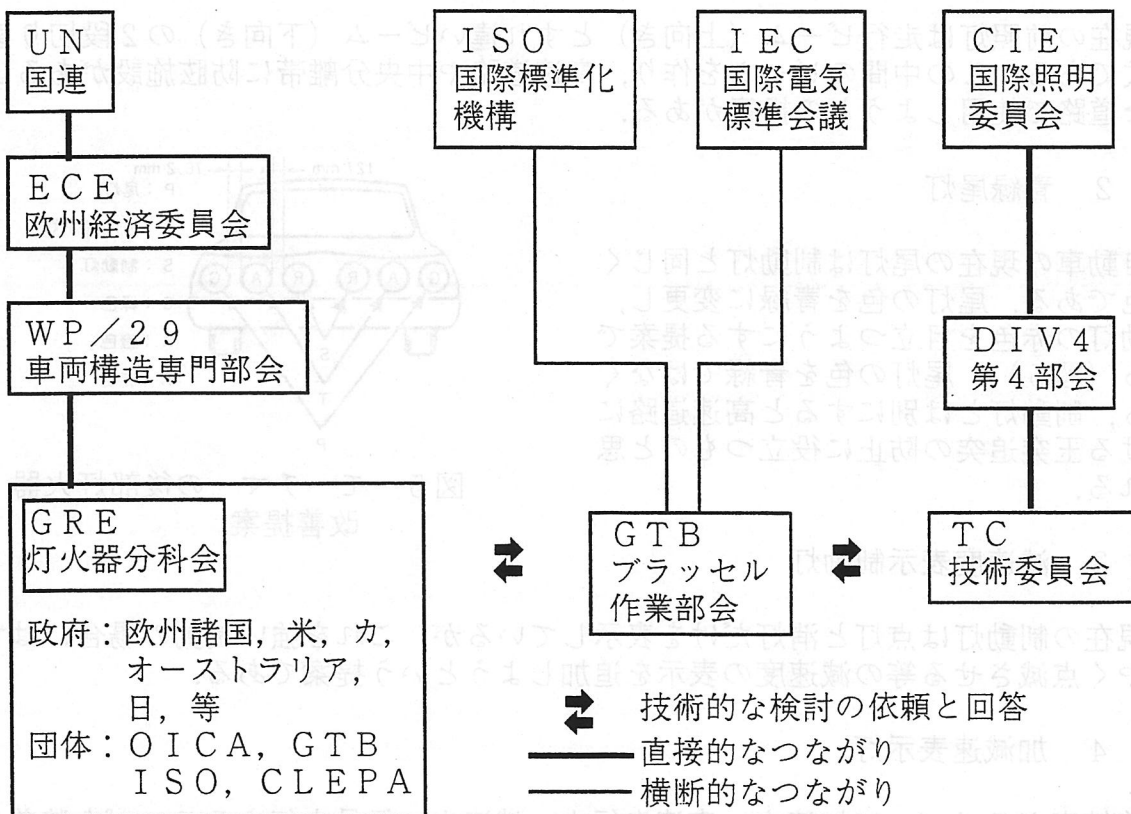


図 6 GRE を中心とした自動車灯火の基準調和関係機関

参考文献

1. 井口，他（編）：自動車技術ハンドブック，「設計編」，（社）自動車技術会，1991.
2. 横井：前照灯すれ違いビームの基準調和の動向，自動車研究 Vol. 13 No.3 1991.
3. 佐藤，小林：自動車用ランプ類と安全について，自動車技術 Vol. 45 No.10 1991.
4. 林：自動車サイドからの照明機器への期待，照学誌，Vol. 75 No. 11 1991.
5. 木村，他：自動車灯火器と道路照明，自動車研究 Vol. 15 No. 5, No. 6 1993.
6. 本田：自動車ヘッドライト用メタルハライドランプ，照学誌，Vol. 77 No. 12 1993.
7. その他：小糸製作所，オスラム，フィリップス，ボルボ等の広報資料.

地上信号方式での速度向上に伴う新たな信号現示

宇賀神 博 田村 敏昭
 米山 信三 藤浪 浩平

Some New Signal Aspects for High-Speed Train on Wayside Signalling

Hiroshi UGAJIN Toshiaki TAMURA

Shinzo YONEYAMA Kohei FUJINAMI

Additional signal aspects will be needed to promote the speed-up project on wayside signalling, where the braking performance needs an increased length of blocks. Three new aspects are ergonomically investigated to ensure visibility for drivers and comfortable driving. Conclusions are 1) A double green aspect before the proceed signal, which is a single green, needs three lenses to make required separation of the two greens. 2) Repeating signal of the double green should be one of two white-lights types, example A or D in figure 1 in this paper. 3) Adequate flashing rate for the flashing yellow/green aspect after the single green may be 80 cycles/min with a period of 50 per cent ON/50 per cent OFF.

キーワード：速度向上，信号方式，運転操縦，安全，人間工学/色灯式信号，中継信号，明滅信号，視認距離，官能評価

1 はじめに

色灯式鉄道信号では，緑（G），橙（Y），赤（R）の3種類の色光を単独または2個の組み合わせ（YG，YY）で用いる。これらの信号による運転上の指示を信号現示といい，現状では最大5現示まで定められていることになる。そのうち，YG（減速），Y（注意），YY（警戒）の3現示は，各閉そく区間の運転速度を指示する目的で，G（進行）からR（停止）までの間で必要に応じて使用される。この方式において列車の最高速度を現在よりも向上させようとする，列車の減速性能や閉そく区間の長さの関係から，より多くの現示段階が必要となる場合がある。

JRの在来線の一部線区では，列車の最高速度を現行の130 km/hから160 km/h程度にまで向上させようとしているが，その場合，速度領域や減速性能からみて，現行の5現示では現示段階が不十分になると考えられる¹⁾。そこで，3色光の残る組み合わせとして唯一可能な，G2灯による現示（以下，仮に「GG信号」）が，有力な追加候補として検討されてきた。同時に，それに対応する中継信号の現示方式についても検討されている。

一方，京浜急行電鉄株式会社では，1995年4月から一部電車の最高速度を，それまでの105 km/hから120 km/hに引き上げた（品川～横浜間）。この速度向上に際しては，最高速度からのブレーキ距離の関係から，GとYGの間に新たな信号現示の追加が行われた。それは

YG2灯を同時に明滅させる方式（以下，「YGフリッカー信号」）であり，抑速現示と称されている。現在のところ，YGフリッカー信号の使用はこのケースに限定されているが，鉄道の常置信号機に明滅信号が採用されたのは国内で初めてである。この方式の選択により，工事費用や工期は大幅に短縮され，運転士にも受け入れられやすい信号現示体系として，円滑に運用されている²⁾。

以上の二通りの方式は，速度領域は異なるものの，速度向上の必要から信号現示の追加を行う場合の，数少ない現実的な解決手法といえる。これらの信号現示方式の検討には，筆者らも人間工学の立場から関わってきており，両方式ともほぼ試験検討段階を終えたのを機に，その経過をまとめておくこととしたい。

2 GG信号の視認性

GG信号については，速度向上列車に対して最高速度走行を許容する場合に用いることが想定されている。運転取扱以上，それが現行G現示の上位側となる新たな現示なのか，あるいは最上位現示はGのままで別のG灯を付加して固有の意味をもたせることとするのかについては，いまだに議論がある。現行のG現示は，いずれの列車に対しても，許容された最大速度での走行を認めるものであることからみて，GG信号の導入により多少の混乱が懸念されるためである。しかしいずれにせよ，検討中のGG信号の構造，機能は同一のものであるので，本

特集：交通・社会環境と人間

稿ではこれ以上この点には立ち入らないこととする。

GG信号に関する人間工学的な議論は、もっぱらそれが鉄道信号として必要な視認性を有しているかどうかという点に集中してきた。他に適切な信号現示の選択肢がないこともあって、筆者らもGG信号の視認性の問題を中心に取り組んできたので、それら一連の試験研究について以下に述べる³⁾⁴⁾。

2.1 定置観察試験による調査

(1) 目的・方法

先行研究³⁾を参考に、GG信号と現行の5種類の信号現示の視認性を比較するため、7灯式信号機構を仮設して定置観察試験を行うこととした。GG信号は、YGやYYと同様に、中間に2個の信号灯をはさむ形(G2灯のレンズ中心間隔が660mm)とした。また同時に、GG信号の代替案として、G2灯が0.4秒ごとに交互に明滅する方式も評価対象とした(計7種類)。

試験条件として、視距離を500m、600m、700m、800mの4通りとし、信号灯の点灯電圧は現行の24Vとした。被験者は運転士35名で、日中、各観察位置で各現示について2回ずつ、現示種別の判断を行った。

(2) 結果

GG信号を800m地点で2回とも正しく判断できた運転士が31名(88.6%)であり、他の運転士も600m地点以遠で全員が正しい判断を行った。他の現示種別については、全て800m地点で全員正しい判断を行った。

視距離が長くなると、GG信号はG現示と判断される傾向があった(800m地点で8.6%)。これは、主としてG2灯が視覚的に一点に融合しやすかったためと考えられた。また、GG明滅方式はGG信号よりも視認性に優れていたが、信号が一瞬でも滅灯することへの違和感や抵抗感から、鉄道信号としては適切さを欠くのではないかという被験者の指摘が多かった。

2.2 走行観察試験による調査

(1) 目的・方法

GG信号と現行5現示とについて、高速走行中の列車運転台からの視認性を比較するため、新幹線線路にそって1000mおきに8基の地上信号機構を仮設し、走行観察試験(速度160km/h)を行った。のべ23名の在来線運転士が、視距離1000m、800m、600mの3地点で現示種別の判断を行った(押しボタンによる選択反応)。

(2) 結果

視距離600mでは全員が正しい判断を行ったが、GG信号をG現示と判断した例が800mで5.4%、1000mで21.2%になった。これも前節の結果と同様に、G2灯が視覚的に一点に融合したものと考えられた。なお、他の現示種別の800m地点での誤判断率は、平均0.5%に

止まっていた。

以上2回の試験結果から、GG信号の視認性を改善して他の信号現示と同等にするためには、G2灯の間隔を拡大する必要があると考えられた。

2.3 GG信号機構の改良と走行確認試験

(1) 目的・方法

視距離600mにおけるGG信号の視認性については、以上の2回の試験で問題のないことが明らかとなった。しかし、より遠方から観察した場合のG2灯の視覚的融合の可能性を残したままとするのは、フェイルセーフ側ではあっても、高速領域での運転の円滑性を損なうことになる。そこで、そのような視覚的融合のしやすさを低減させるために、2灯の間隔を中間3灯に拡大したGG信号(レンズ中心間隔880mm)を用いて、GGとGの判別性を調査することとした。信号灯のレンズ径は150mmであり、灯間隔の拡大により、視距離600mから見た場合の2灯を隔てる空間の視角(上側レンズの下縁と下側レンズの上縁とのなす視角)は、2'55"から4'11"に広がることとなった。

この試験では、在来線区間の連続する5基の信号機にそれぞれG灯機構を付加仮設した。線路閉鎖を行ったうえで、5地点のうちランダムに選んだ1地点のみG現示とし他はGG信号とするという条件で、早朝160km/h試験列車を走行させた。被験者は試験列車の運転士であり、各信号機所定の確認位置において、信号の種別を正しく判断できるかどうかを調査した。4名の運転士がそれぞれ3回の走行を行った。

(2) 結果

GG信号とG現示については、所定の確認位置において全ケースで正しく判別された。また、その信号確認のタイミングについても、別の区間における120km/h走行時のデータと比較して、特に遅れなどは認められず、信号の確認に必要な作業上の余裕も確保されていた。

2.4 まとめ

地上信号方式における現示体系の上位側に追加する現示案としてのGG信号について、その視認性を現行現示との比較試験により検討した。その結果、所定の確認距離600mからの視認性は確保されていたが、より遠くから視認した場合の2灯の視覚的融合の可能性を減じるためには、G2灯の間隔を中間3灯分空けることが望ましいとの結論を得た。

なお、GG信号を採用した場合、速度向上列車ではG現示が制限信号となることから、運転士の認知的な枠組みの切替えが求められることになる。速度向上の実施にあたっては、その点に特に慎重な配慮が望まれる。できれば、GGからGへの現示変化に対しては、運転士に何

らかの予告を行うしくみが必要と思われる。同時に、速度照査式のATSなど、速度超過に対するバックアップ機構が備えられることが望ましい。

3 GG信号に対応する中継信号現示方式

高速運転用にGG信号を採用する場合、それに対応する中継信号の現示方式を定める必要があるため、以下に述べる一連の試験研究を行った。

現行の灯列式信号機構による中継信号（白色灯3灯）は、進行（垂直灯列）、制限（斜め灯列）、停止（水平灯列）の3現示式であり、GG信号に対応させてこれらの上位側に新たな現示を設ける場合、どのような方式が適切であるかが検討された。

3.1 現示方式の検討

(1) 検討対象とした現示方式の考え方

主体のGG信号に対応する中継信号現示としては、次の5通りの考え方にもとづく11の方式が考案された。

- 1) 色灯式中継信号とする（G2灯に識別標識付加）。
- 2) 灯列式信号機構を垂直方向に2基連ね、双方に進行中継信号を現示する。
- 3) 灯列式信号機構による進行中継信号に、何らかの識別のための表示を付加する。
- 4) 灯列式信号機構による進行中継信号を明滅させる。
- 5) 新たな現示は設けない（中継信号の必要な地点は高速運転に適さないため、GG信号を現示しない）。

(2) アンケート調査

11方式を図案化し、それらに対する現場の意見を聞くためのアンケート調査を実施した。回答者はJR各社の運転士指導担当者23名であり、各現示方式案の「中継信号としての相応しさ」「中継信号として採用する場合の実施上の容易さ」について、7段階の評定を求めた。

その結果、現示案の序列は、「相応しさ」と「採用の容易さ」のいずれの評定においてもほぼ同じであり、最も高く評価されたのは、中継信号機が必要な場所では現行以上の速度で走行しないという案であった。高速運転用の何らかの現示を設ける案としては、現行の進行現示に別の灯光を組み合わせる方式が、いずれも上位を占めていた。色灯式については、主体の信号との判別のむずかしさ、識別標識（紫色灯）の見にくさという理由から評価は低かった。また、点滅表示や、文字表示を併用する案も、高い評価は得られなかった。

中継信号機の設置が必要な場所での高速走行は、基本的には好ましくないという面もあるが、上り勾配の頂点など中継信号が有効に機能する場面があるので、高速運転用の中継信号の必要性は認めなければならない。その場合、現行の現示体系や、主体の信号機の現示体系との

整合性が求められるといえよう。アンケート調査にもとづく検討の結果、GG信号を中継する現示としては、現行進行現示の上方または下方に何らかの灯光を付加したものが適切ではないかと考えられた。

3.2 定置観察試験による視認性調査

(1) 目的

前節の検討などにもとづき、中継信号の現示案を図1に示す6種類とし、それらと現行の現示3種類とを対象に、視認性の比較調査を行うこととした。6種類の中には新たな現示案として、現行の灯列式信号機構に2個の白色灯を追加した機構を用いて、円環状に灯列パターンを表示させる方式も加えられた（案D）。

(2) 方法

運転士および運転士経験者の計34名が、晴天の日中、200m（所定の確認距離）から400mまで100mおきに3通りの距離から、ランダムな順序で各現示パターンを3回ずつ観察しパターン種別の判定を行った。その後、6種類の現示案のそれぞれについて、「信号としての相応しさ」や「現行の現示との誤認しにくさ」に関して5段階の評定を求めた。

(3) 結果

6種類の現示案のうち、現行進行現示の最上位の灯と最下位の灯とを交互に明滅させる現示パターン（案E）については、視距離が長くなるにしたがって進行現示と誤認したり判定困難となる被験者が多く、現示案として適切でないことがわかった。その他には、2種類の現示案について400m地点での判定不能が各1件あったが、現示案どうしの判別を行うという試験課題の困難さや、所定の確認距離が200mであることからみれば、特に問題があるとはいえないと結論された。さらに、「信号と

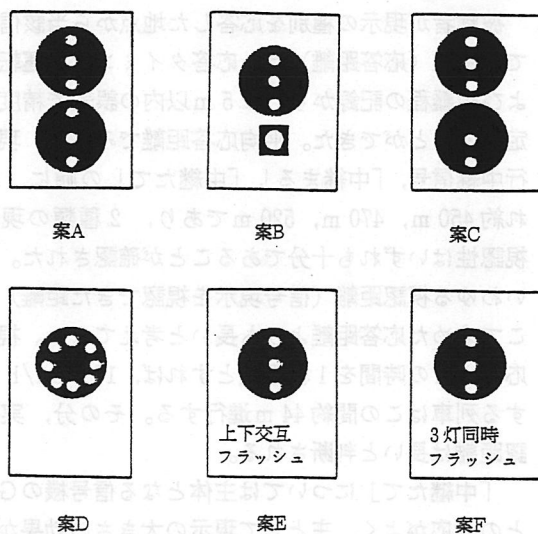


図1 在来線高速運転用の中継信号現示案

特集：交通・社会環境と人間

しての相応しさ」や「現行の現示との誤認しにくさ」の評定結果では、

- 1) 案A：現行の進行中継信号現示を縦に2つ連ねる方式（以下、仮に「中継たて」）
 - 2) 案D：現行の信号機構を改良して円環状の灯列を表示する方式（以下、仮に「中継まる」）
- の両者に対する評価が、他の4種類のパターンに比べて同程度に高かったため、視認性や運転士の主観的印象のよさからみて好ましいと思われる方式は、これら2案に絞られると判断された。上記2)の方式は、現行の中継信号のイメージを変えるものであるが、現示面の大きさが変わらないことや、視覚的な簡明さが評価されたものと考えられた。

3.3 走行観察試験による視認性調査

(1) 目的

GG信号に対応する中継信号現示として、視認性や信号らしさなどの点で優れたものと考えられた前記2種類の現示案「中継たて」および「中継まる」の視認性を、走行観察試験により調査することとした。これらの現示案と現行の進行現示との3種類の現示パターンを対象として、およそ160 km/hで走行する列車から観察した場合の視認距離の調査、比較を行うこととした。

(2) 方法

在来線の約3 kmの区間に試験用中継信号機5基を仮設した。被験者は、1日1試験走行（早朝）につき試験列車の運転士1名を含む運転士3名とし、6日間でのべ18名が参加した。被験者は運転室において、試験用信号機への接近を予告する地上の注意標を契機として信号の注視を開始し、その現示を確認できた地点で喚呼応答または押しボタンによる選択応答を行った。これらは、運転速度、距離程などと同時に記録された。

(3) 結果

被験者が現示の種別を応答した地点から当該信号機までの距離（応答距離）は、応答タイミング、運転速度および距離程の記録から、±5 m以内の誤差で精度よく推定することができた。平均応答距離で見ると、現行の進行中継信号、「中継まる」、「中継たて」の順に、それぞれ約450 m、470 m、520 mであり、2種類の現示案の視認性はいずれも十分であることが確認された。なお、いわゆる視認距離（信号現示を視認できた距離）は、ここで求めた応答距離よりも長いと考えてよい。視認から応答までの時間を1秒程度とすれば、160 km/hで走行する列車はこの間約44 m進行する。その分、実際の視認距離は長いと判断される。

「中継たて」については主体となる信号機のGG信号との対応がよく、主として現示の大きさの効果から視認性も優れている。「中継まる」については、その円環状

の灯列という現示パターンの目立ちやすさ、判別性が特長と考えられ、視認性の点でも問題はない。いずれも十分に採用可能な現示案であると結論された。

3.4 まとめ

GG信号に対応する中継信号として考えられる、いくつかの現示方式を検討した結果、視認性や信号としての相応しさという点で、現行の進行中継信号の現示を縦に2つ連ねる方式か、または現行の信号機構面に円環状の灯列を表示する方式が優れているとの結論を得た。

4 YGフリッカー信号の明滅方式

4.1 検討対象とした明滅方式

YGフリッカー信号の現示方式（明滅の周期や時間比率）は、運転士が短時間で明瞭に明滅を確認できるという意味での判別性に優れ、かつ鉄道信号として違和感のないように決定する必要があった。

一般にオペレータに対する警報として明滅光を用いる場合、誘目性の観点からは、明暗の時間間隔が均等で毎分240回程度の明滅が最適であるとの報告⁶⁾がある。それに近いレベルでは、特殊信号に用いる発光機の明滅周期に関する検討例⁷⁾があるが、これは緊急信号のため明滅周期が速すぎて、直接の参考にはならない。見る者にわずらわしさや不快を感じさせないという意味では毎分180回以下に抑えるのがよいとされる⁸⁾。鉄道信号としては、イギリス国鉄で採用しているYとYYの明滅信号があり、これが毎分70回の明滅である⁹⁾。国鉄での試験結果¹⁰⁾で最適とされている範囲は、毎分およそ60～120回程度の明滅であり、2.1で述べたGGの明滅方式（毎分75回）もそれにもとづいている。さらに(社)信号保安協会による報告¹¹⁾では、毎分60回または80回の明滅が推奨されている。

以上を考慮し、明滅方式の検討対象として、1分あたりの明滅回数を50回、60回、80回、100回の4通りとした。また、1サイクル中の点灯時間の割合（点灯割合）についても、滅灯時間を短縮しうる可能性をさぐるため、50%、65%、75%、85%の4通りとした。これらを組み合わせた16種類の明滅方式について、その見え方を官能評価の手法により調査することとした¹²⁾。

4.2 明滅の見え方の評価

(1) 判別性評価試験

晴天の日中、視距離200 mから、各方式の(1)明滅認知の速さ、(2)明滅の明瞭さ、について官能評価試験（4段階評定、研究所員5名×2回、提示時間3秒）を行った。その結果、明滅回数が多く（明滅が速く）点灯割合が50%に近いほど明滅は速く判断された。また、点灯割合が

50%に近いほど明滅が明瞭に知覚される傾向があり、ほぼ理論的に予想された通りの結果となった。なお、点灯割合にかかわらず明滅回数が50回/分の方式、および明滅回数にかかわらず点灯割合が85%の方式は、判別性に関して他の方式より明らかに劣る傾向があった。

(2) 運転士による定置観察試験

日中、運転士331名が視距離200mからの各方式の(1)目立ちやすさ、(2)気付きやすさ、(3)はっきり度合、(4)目ざわり度合、(5)まだるっこさ、(6)鉄道信号としての相応しさ、の6項目の評定(各6段階)を行った(のべ14日間)。主成分分析の結果、項目(1)(2)(3)(6)を判別性の因子、項目(4)(5)を違和感の因子とみることができ、判別性のよさ、違和感の小ささからみて、明滅回数では60回、80回、点灯割合では50%、65%の方式が、共通してよい評価を得ていた(図2)。

明滅の最も速い100回/分の方式については(4)の目ざわり度合の評定が高く、明滅が速すぎると違和感が生じる傾向が示された。他の評定項目でも、明滅回数100回の方式よりも80回の方式が全般により評価となっており、判別性という点では毎分せいぜい80回程度の明滅で十分という判断がなされたものと考えられた。

(3) 夜間の判別性評価試験

夜間は、信号と背景との輝度比が高くなり、明滅の見え方が昼間とは違ってくると考えられる。そこで、明滅回数50回の方式、および点灯割合85%の方式を除く9種類の方式を対象に、研究所員6名が視距離200mから一対比較法¹³⁾により判別性の優劣評価を行った。その結果、明滅回数と点灯割合の組み合わせで60回-50%、80回-50%、80回-65%の方式が最も判別性に優れていた。明滅が速すぎたり、点灯割合が高すぎたりすると、明滅を判断しにくくなる傾向がうかがわれた。

(4) 運転士による走行観察試験

以上の試験で絞り込んだ60回-50%、80回-50%、80回-65%の3方式について、約100km/hで走行中の電車の運転台から観察試験を行うこととした。連続する区間の2基の閉そく信号機にそれぞれ隣接して仮設し

た2基の表示器に、3方式のうち一対のYGフリッカー信号を表示し、それらを連続して観察比較し優劣の判定(5段階)を行う方法¹⁴⁾によった(一対につき運転士20名×6通り)。試験時間帯はおおむね10時から12時の間で、同一対で1日4名、各対5日間×6通りで、計30日の日数を要した。試験の結果、各方式間に優劣の差は認められず、実用上の差異はないと判断された。

4.3 まとめ

YGフリッカー信号の明滅方式(毎分明滅回数と点灯割合)について、3次にわたる評価試験により、昼夜に共通して判別性がよく、違和感も小さい組み合わせとして、60回-50%、80回-50%、80回-65%の3方式が得られた。これらを走行観察試験により比較したが、運転士にとっての好ましさを一貫して左右するほどの差異は認められず、いずれも実用可能と判断された。

なお、YGフリッカー信号の実用化に際して、筆者らは80回-50%の明滅方式の採用を提言した。その理由として、上位3方式の中ではこの方式が理論的に最も判別性がよいと考えられること、つまりより短時間で明確に明滅を確認できると期待されることであり、さらに4次の試験を通じて一貫して優れた成績を示したこと、特に夜間の試験において最も優れた判別性を有していたことをあげることができる。この明滅方式は、電球寿命などへの明滅の影響に関する試験結果も踏まえて、実際に採用されるに至っている¹⁵⁾。

5 おわりに

速度向上に伴って新たな信号現示を追加することが効果的な場合があり、その必要から視認性を中心とした人間工学的な検討を行った事例をまとめて述べた。実際に現示の追加を行う場合には、試運転段階において、運転士が新しい現示体系に習熟することや、信号にしたがった運転が円滑に実施されるかどうかを確認することが必須の手順となろう。さらに過渡的には、必要に応じて設

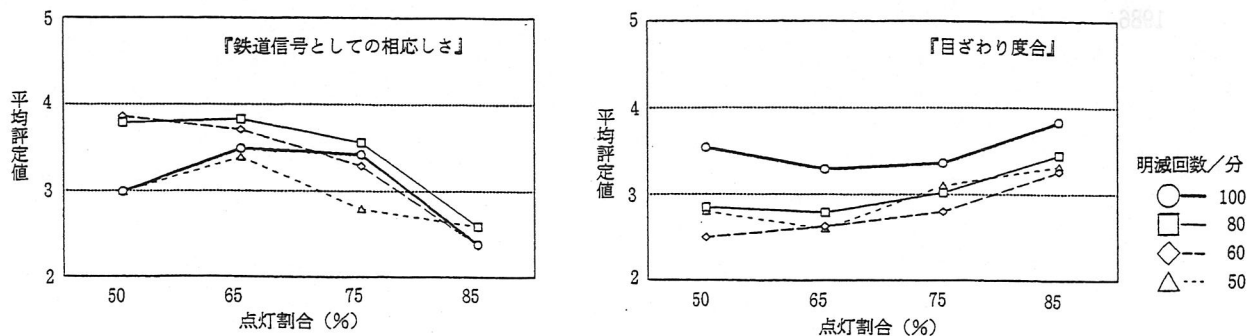


図2 YGフリッカー信号の見え方評価結果の一部(運転士157名による定置観察, 6点法)

特集：交通・社会環境と人間

備、運用や運行計画の変更など柔軟な対処ができる余地を残しておくことが望ましいと思われる。

YGフリッカー信号はすでに実用化されており、鉄道信号への明滅現示の採用が、地上信号方式での速度向上推進の有力なカギになるかどうか注目されることである。これを機に、これまで一部に抵抗感の強かった明滅信号の効用についての議論も活発になることと思う。

本報告内容の一部は、日本鉄道建設公団、京浜急行電鉄株式会社の委託を受けて実施したものである。貴重な試験研究の機会を与えていただくとともに、さまざまご指導、ご助力をいただいたことに感謝したい。また、GG信号およびその中継信号についての検討は、日本鉄道建設公団、東日本旅客鉄道株式会社、西日本旅客鉄道株式会社の3者の関係の方々との連携を図りつつ、各位からの多大なご援助の下に推進された。調査、試験の実施や結果の評価にあたっては大変お世話になった。なお、鉄道総研の在来線高速化推進部（当時）のスタッフ各位、および人間科学研究部（当時）関係では、特に北見成紀、小林俊顕、白戸宏明、小美濃幸司の各氏のご尽力があったことを申し添えて結びとしたい。

文献

- 1) 市川和男：信号現示，鉄道総合技術研究所（編）：在来鉄道運転速度向上のための技術方策，pp.141～144，研友社，1993
- 2) 石塚幸治：日本で初の信号灯明滅方式による速度向上計画の概要，JREA，Vol.38，No.5，pp.30～33，1995
- 3) 宇賀神博・米山信三・田村敏昭：在来線列車の速度向上に伴う信号方式の検討—GG信号の視認性，人間工学，Vol.27，特別号，pp.318～319，1991
- 4) 橋本厚彦・浜田清之・田村敏昭：在来線高速用地上信号現示について，第30回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，pp.182～186，1993
- 5) 小川恭男・米山信三・小奈勝也：信号機の視認性に関する研究，鉄道労働科学，No.40，pp.125～132，1986
- 6) Morgan, C.T. et al. : Human Engineering Guide to Equipment Design, McGraw-Hill, New York, 1963 (近藤武他訳：人間工学データブック，コロナ社，p.76，1972)
- 7) 在来鉄道運転速度向上研究会：在来鉄道運転速度向上のための調査研究報告書，p.94～98，1993
- 8) 照明学会編：あたらしい明視論（第5版），照明学会，p.63，1973
- 9) Kichenside G.M. : Signalling for high speed, Modern Railways, Vol.33, pp.388～390，1976
- 10) 伊南盛治・杉岡昇・山内一泰：信号の見え方に関する研究，鉄道労働科学研究資料，No.82-8，1982
- 11) (株)信号保安協会：高密度化運転保安システムに関する調査・検討報告書，1990
- 12) 宇賀神博・藤浪浩平：色光の明滅による鉄道信号の現示方法の検討，人間工学，Vol.31，特別号，pp.468～469，1995
- 13) 日科技連：新版官能検査ハンドブック，日科技連出版社，p.366～374，1973
- 14) 前掲13)，p.356～366
- 15) 宇賀神博・市川和男・藤浪浩平・石塚幸治：色光明滅による信号現示方式の検討と実用化，第32回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，1995（印刷中）

宇賀神 博

所属職名：基礎研究部 宇賀神研究室（人間工学）研究室長

電話：NTT 0425-73-7348 JR 053-7348

専門分野：心理学，人間工学

田村 敏昭

所属職名：経理部契約課 契約係長

電話：NTT 0425-73-7241 JR 053-7241

専門分野：電子工学，信号通信

米山 信三

所属職名：技術開発事業本部 主幹

電話：NTT 0425-73-7482 JR 053-7482

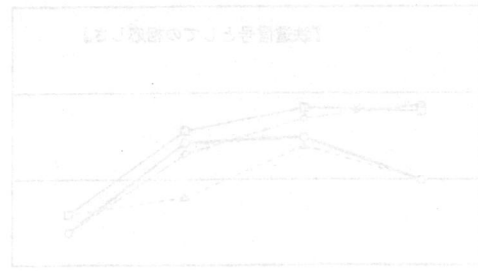
専門分野：電子工学，人間工学

藤浪 浩平

所属職名：基礎研究部 藪原研究室（安全心理）研究員

電話：NTT 0425-73-7345 JR 053-7345

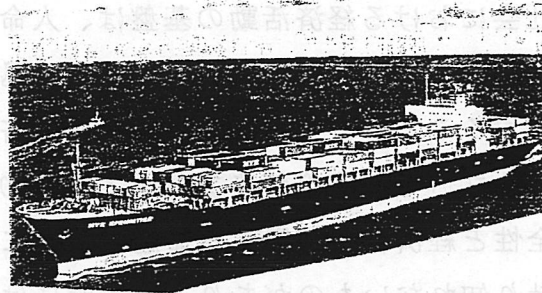
専門分野：人間工学



海上船舶交通における視環境の現状と海難

神戸商船大学
古 荘 雅 生

1. はじめに
2. 海上交通システム
3. 海難
4. 航海視環境
5. おわりに



1. はじめに

今年から実施された「海の日<7月20日>」は、海の恩恵に感謝し海洋国日本の繁栄を願って制定された国民の祝日である。貿易立国日本の海上輸送を支える海運の重要性や船員の仕事を広く国民に理解していただき、併せて海事思想の普及を図ろうとする目的がある。そのような「海の日」の制定を踏まえて、陸の道路・鉄道交通、あるいは空の航空交通とともに、交通3部門の一翼を担う海上船舶交通（海上交通システム）について、海上での交通事故に相当する海難と船舶交通の航海視環境の現状を報告する。

2. 海上交通システム（海上船舶交通）

（1）海上交通システムとは

海上船舶交通は海を利用するあらゆる活動によってもたらされる交通が対象となる。すなわち、貨物と旅客の輸送にあたる海運業、水産動植物の採捕とそれらの養殖にあたる漁業、そして海洋レジャーなど様々な目的を持って行われる交通システムと定義することができる。

「船舶」とは、海上交通3法〔①海上衝突予防法（一般法）②海上交通安全法（特別法）③港則法（特別法）〕のうち①海上衝突予防法では、次のように定義される。

『「船舶」とは、水上輸送の用に供する船舟類（水上航空機を含む）をいう。』

船舟類：船舶の種類、大小、推進方法、用途、形態等を問わない一切の船舟・舟艇等を示し、無排水量船や水上航空機も含まれる。

具体例：動力船、帆船、ろかい船、客船、貨物船、軍艦、漁船、コンテナ船、PCC（Pure Car Carrier：自動車運搬船）、カーフェリー、タンカー、フッシャーハーブ、水中翼船、ジェットフォイル、エアクション船、水上飛行艇、LNG船、LPG船、RORO船

（２）海上交通システムの構成要素

社会における経済活動の基盤は、人命と物資（財貨）の交通輸送システムを、
 ○確実に（確実性）、○迅速に（迅速性）、○安全に（安全性）
 運用することによって確立される。経済性を重視するあまり安全性が阻害されてはならないし、安全性を重視するあまり経済性の低下をもたらしてはならない。安全性と経済性は相反する命題のように思われるが、安全性がもたらす経済効果は計り知れないものがあり、基本的には安全性を追求しなければならない。

そこで、交通システム一般の安全性を向上させるために、次の表1に示す3つの構成要素を考える必要がある。

表1. 交通システムの構成要素

①	交通媒体	船舶・自動車・鉄道車両・航空機等
②	交通システム管理者（人間）	船長・航海士・運航士・機関長・機関士 運転手（ドライバー）・運転士・機長・操縦士等
③	交通環境	海（船舶）・陸（自動車・鉄道車両）・空（航空機）

船舶の安全航行もまた同様に考えることができる。すなわち、図1に示すように①船舶 ②人間 ③環境を海上交通システムの構成要素と考える。

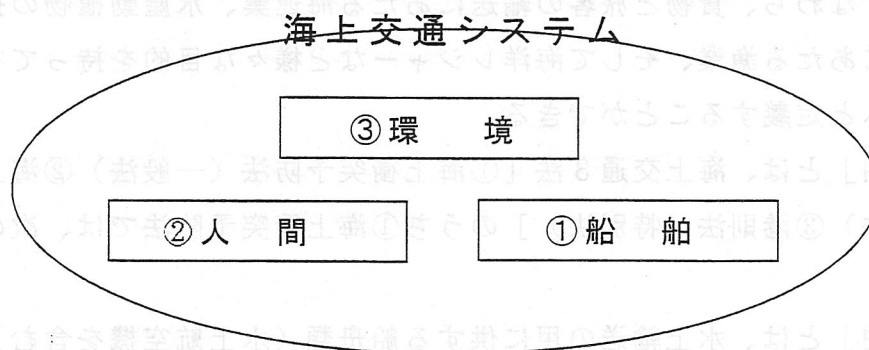


図1 海上交通システムの構成要素

(3) 構成要素の内容

① 船舶

○ 船舶の種類（用途別分類）

- a. 商船－貨物船・旅客船・貨客船
- b. 漁船－漁船・工船・漁獲物運搬船・漁業取締船・漁業調査船・漁業練習船等
- c. 特殊船－練習船・巡視船・曳船・水先船・気象観測船・軍艦・プレジャーボート等

○ 船舶の諸設備

- a. 航海設備：船灯・汽笛・レーダー・コンパス・GPS・ARPA etc.
- b. 係船揚錨設備：ウインドラス・ウインチ・ムアリングホル・フェアリーター・ホーサー
- c. 保安応急設備：救命設備・GMDSS・消防設備
- d. 居住衛生設備：脱出設備・衛生諸室・旅客室・船員室
- e. 荷役設備：揚貨装置（デリック・クレーン）
- f. 機関電気設備：機関・発電機・操舵機
- g. 特殊設備：昇降設備・焼却設備・
- h. 無線通信設備：GMDSS

○ 船舶の諸性能

- a. 操縦性：旋回性・追従性・保針性
- b. 操船性：操船システム・ブリッジデザイン（IBS）
- c. 堪航性：人的堪航性・物的堪航性・保安応急設備
- d. 快適性：動揺・振動・騒音・空調
- e. 機関性：燃料消費・機関運転特性・推進効率

② 人間

- 対象者：船長・航海士・運航士・機関長・機関士・通信長・通信士→船舶職員
操船者・船橋当直者・船舶操縦者・海技従事者・水先人・船員等

○ 身体機能

- a. 「健康検査合格標準表」：船員法関係
船員法第83条（健康証明書）
船員法施行規則第55条第2号表
- b. 「身体検査基準表」：船舶職員法関係
船舶職員法第7条の2第3項
船舶職員法施行規則第9条の2・第40条の2

○ ヒューマンファクターとヒューマンエラー

- a. 視覚特性：人間の視覚に関する生理的・心理的特性
- b. 人間行動特性：避航判断、危険予知等
- c. システムデザイン：ヒューマン・インタフェース、マン・マシン・インタフェース等

③ 環境

○ 航海環境

- a. 視覚的環境（航海視環境）：天空照度、天空輝度、海面輝度等
- b. 地理的環境：港湾、航路、海域、水域、航行援助施設（航路標識）等
- c. 気象的環境：海洋気象、天候、風、波浪、台風、海流・潮流、気圧等
- c. 社会的環境：領海、交通流、海域利用調整等

○海難原因

平成6年に地方海難審判庁（第1審）で行われた826件の海難審判による裁決の結果、1080隻の船舶に対して海難の原因があるとされ、1隻に複数の海難原因が指摘された場合を含めて、事件種類別の海難原因は下表のとおりである。

表 事件種類別海難原因分類

(単位：原因数)

海難原因	衝突	衝突(単)	乗揚	沈没	転覆	遭難	行方不明	火災	爆発	機関損傷	属具損傷	施設損傷	死傷等	安全阻害	運航阻害	合計
船舶運航管理の不適切			2		2					1			1		2	8
船体・機関・設備の構造・材質・修理等不良				1	2	1		1		10						15
発航準備不良	1	1	2		1										6	11
水路調査不十分		1	28									10			3	42
針路の選定・保持不良		4	31		1							1			1	38
操船不適切	4	8	5	1	1	2						2	4			27
船位不確認		12	66									7				85
見張り不十分	379	1	1		1											382
居眠り	25	6	46									3				80
操舵装置・航海計器の整備・取扱不良			1													1
気象・海象に対する配慮不十分	1	1	7		6	1										16
錨泊・係留の不適切	3		4	2	2	2							2			15
荒天措置不適切		1	4	1	6	1		1					2			16
灯火・形象物不表示	18															18
信号不吹鳴	181															181
速力の選定不適切	35	5	1													41
航法不遵守	169															169
主機の整備・点検・取扱不良		2		2		2		5		133					7	151
補機等の整備・点検・取扱不良	1					16		2		18					4	41
燃料油・潤滑油等の点検・取扱不良								2		56					6	64
電気設備の整備・点検・取扱不良								6								6
甲板・荷役等作業の不適切				1	1	1		1					20			24
漁労作業の不適切										1			14			15
旅客・貨物等積載不良					1	1			1							3
服務に関する指揮・監督の不適切	67	1	28			1		2		9		2	15		1	126
報告・引継の不適切	28	1	21							1		1	1		1	54
火気取扱不良								7					2			9
不可抗力					2					1						3
その他			1	1	1			1								4
合計	912	44	248	9	27	28		28	1	230		26	61		31	1,645

(単位：件)

適用	海上衝突予防法	293
航法	海上交通安全法・港則法・条例	17

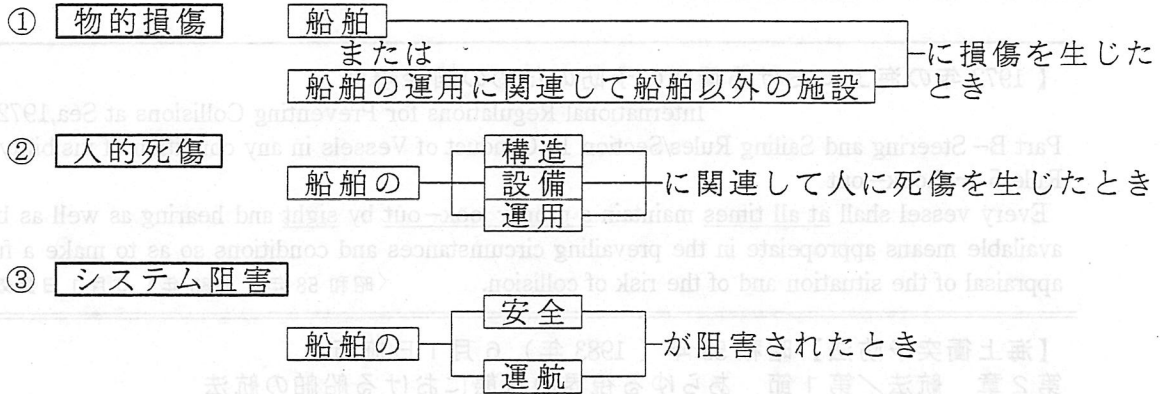
裁決件数	323	39	193	5	20	17		22	1	133		23	33		17	826
裁決隻数	650	39	193	6	24	17		22	1	133		23	35		17	1,160
海難の原因ありとされた船舶隻数	578	39	192	5	21	17		21	1	132		23	34		17	1,080

3. 海難

(1) 海難とは

海上における交通事故は、船舶の運航に伴って生ずる損害を『海難（Casualty / Marine disasters）』として次のように定義される。

海難審判法第2条（海難の発生）に基づき次の①～③の項目に該当する場合は、海難が発生したものとされる。

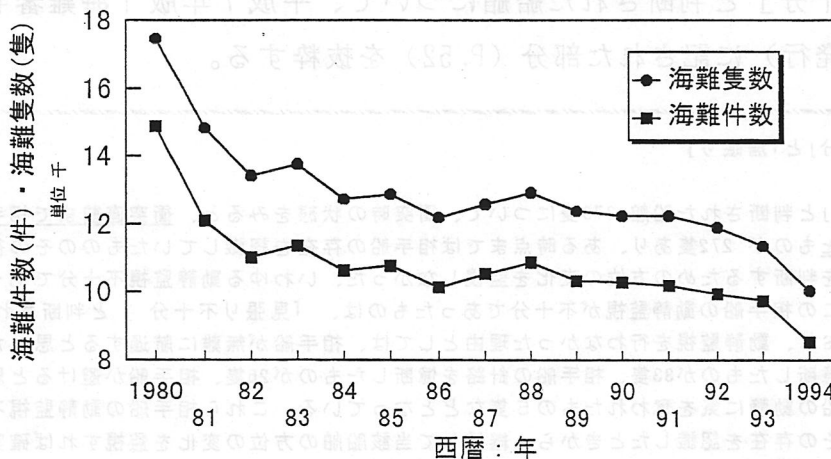


(2) 海難の現状

○海難件数及び海難隻数

下図に示すように海難件数及び海難隻数は年々減少傾向にあるが、船舶隻数も同様に減少しているため、海難が減少しているとは言い難い。

海難件数及び海難隻数の経年変化



資料：海難審判の現況 / 海難審判庁

衝突の海難原因をみると、『見張り不十分』が約42%と最も多く、次いで『信号不吹鳴』約20%、『航法不遵守』約19%となっている。このことは、適切な見張りがおろそかになったとき、多数の衝突事件が発生していることを示し、海難の発生を防止するうえで、最も要求されるのは、常時適切な見張りを行うことであることを示している。

海上における交通ルールの基本である海上衝突予防法（国際規則に準拠）は、見張りに関する航法規定を次のように定めている。

【1972年の海上における衝突の予防のための国際規則】

International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972】

Part B-Steering and Sailing Rules/Section 1-Conduct of Vessels in any condition of visibility

Rule 5 - Look-out

Every vessel shall at all times maintain a proper look-out by sight and hearing as well as by all available means appropriate in the prevailing circumstances and conditions so as to make a full appraisal of the situation and of the risk of collision. <昭和58年（1983年）6月1日発効>

【海上衝突予防法】昭和58年（1983年）6月1日施行

第2章 航法／第1節 あらゆる視界の状態における船舶の航法

第5条 見張り

船舶は、周囲の状況及び他の船舶との衝突のおそれについて十分に判断することができるように、視覚、聴覚及びその時の状況に適した他のすべての手段により常時適切な見張りをしなければならない。

シーマンシップの最も基本的かつ重要な要素である『見張り（Lookout）』が、衝突海難原因のトップを占めているにもかかわらず、「見張り不十分」という海難原因の指摘に留まっているのが現状である。

「見張り不十分」と判断された船舶について、平成7年版「海難審判の現況」（海難審判庁発行）に記された部分（P.52）を抜粋する。

(a)「見張り不十分」と「居眠り」

—略—

「見張り不十分」と判断された船舶 379隻について、衝突時の状態をみると、衝突直前まで相手船の存在を知らなかったものが272隻あり、ある時点までは相手船の存在を認識していたもののその後、衝突のおそれの有無を判断するための方位の変化を監視しなかった、いわゆる動静監視不十分であったものが107隻ある。この相手船の動静監視が不十分であったものは、「見張り不十分」と判断された船舶の約3割を占めており、動静監視を行わなかった理由としては、相手船が無難に航過すると思ったなどの相手船の速力を憶断したものが33隻、相手船の針路を憶断したものが26隻、相手船が避けると思ったものが22隻、第3船の動静に気を奪われたもの5隻などとなっている。これら相手船の動静監視不十分であったものは、その存在を認識したときから、継続して当該船舶の方位の変化を監視すれば確実に衝突を回避できたものと思われる。

そこで、船舶の安全運航にとって必要な「適切な見張り」について、特に船長をはじめ船舶の操縦に携わる人に直接影響を及ぼすと思われる航海船橋における航海視環境の物理的特性を知る必要がある。

4. 航海視環境

海上交通システム構成要素のひとつである「③環境」について、その視覚的環境を航海視環境として検討する。

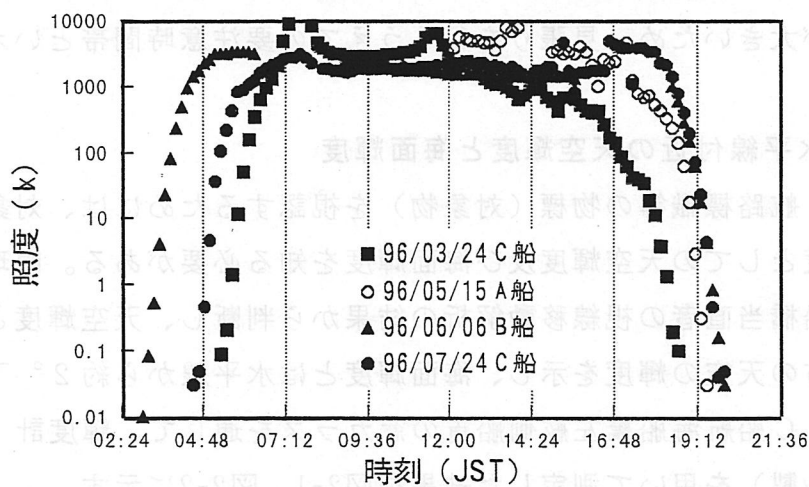
船舶の海上航行における航海視環境は、光源となる太陽と地球自転との関係により、夜間→払暁（日出前の薄明）→昼間→黄昏（日没後の薄明）→夜間を繰り返している。そして、屋外の照度は、月明（三日月）による 0.1（ルクス：lx）から太陽光の最高12万lxまで物理的には実に120万倍の変化を呈している。そのような照度変化の中で、昼夜、薄明を問わず船舶の航海は続けられている。

そこで航海船橋の水平面照度と航海船橋から眺めた水平線付近の天空輝度及び海面輝度を測定し、「見張り」を行ううえで、船舶等の物標の視認に影響を及ぼす航海視環境の物理的特性について考察する。

（1）航海船橋の水平面照度

航海船橋の水面からの高さ（以下「眼高」とする）は、船舶の大きさにより異なる。航行海域、航海時期、そして眼高の異なる3船（A船：14m、B船：22m、C船：7m）での測定結果を下図に示す。（A船：神戸⇄高松カーフェリー〈神高丸〉、B船：舞鶴⇄小樽カーフェリー〈ニューあかしあ〉、C船：神戸商船大学練習船〈深江丸〉）

測定装置は、航海船橋船首側窓ガラス付近で、通常、航海士が双眼鏡を置く場所に設置し、昼間は直射日光が受光面に当たらないようにした。デジタル照度計（IM-3：トプコン製）にプリンター（DP-2：トプコン製）を接続し、測定間隔10分間の連続測定とした。

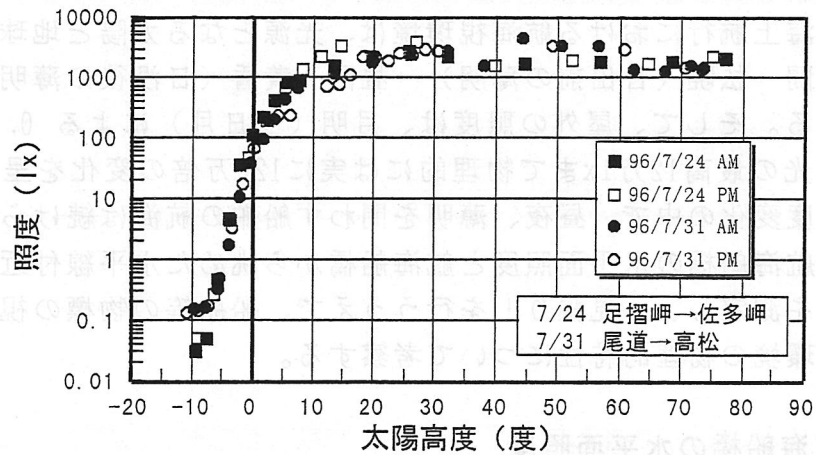


航海船橋の水平面照度

その結果、眼高の違いが航海船橋の水平面照度に及ぼす影響はなく、航行海域及び航海時期の違いによる日没時刻と薄明時間の違いという季節的な変化の様子を知ることができる。

また、航海船橋船首側窓ガラス付近の水平面照度は、0.01～10000 lxの範囲である。

ある一定場所の日出没時刻は季節的に変化するため、太陽高度と照度変化の関係を調べた結果を下图に示す。



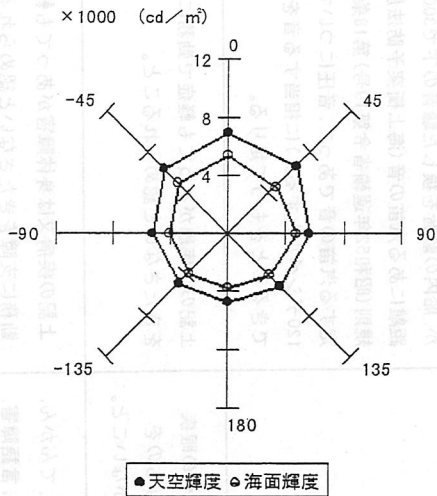
航海船橋の水平面照度

上図は、1996年7月23日～8月1日でC船の航海中に測定した結果である。航海船橋の照度変化は、太陽高度が 10° 付近を境として上昇傾向から横這いになることを示している。日本では太陽高度 10° 以上の時間帯を昼光照明の技術が機能すべき時間帯と定め、これを採光昼間と呼んでいる。太陽高度が -10° 付近の日出没前後の薄明時間帯から太陽高度 10° 付近の採光昼間までの間は、照度変化が大きいいため、見張りを行ううえでの要注意時間帯といえる。

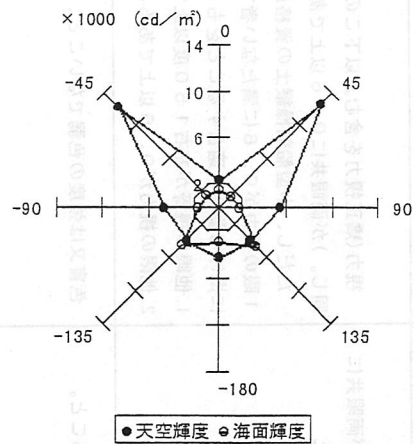
(2) 水平線付近の天空輝度と海面輝度

船舶、航路標識等の物標(対象物)を視認するためには、対象物の輝度とその背景輝度としての天空輝度及び海面輝度を知る必要がある。眼球運動測定装置を用いた船橋当直者の視線移動解析の結果から判断し、天空輝度とは水平線から約 2° 上方の天空の輝度を示し、海面輝度とは水平線から約 2° 下方の海面の輝度をいう。C船航海船橋左舷側船首の窓ガラスを通して、輝度計(BM-5、BM-5A、BM-8:トプコン製)を用いて測定した結果を図2-1、図2-2に示す。

天空輝度と海面輝度は、太陽高度の違いと太陽方位との相対方位角の違いにより輝度分布が決定される。太陽方位に対して正横より太陽側を前面、その反方位を背面とすると、前面の場合、サングリッターの場合を除いて、天空輝度は海面輝度より大きく、その傾向は相対方位角による違いはない。一方、背面の輝度について太陽高度 33° の場合をみると、海面輝度の分布はほぼ一定の分布状況であるが、天空輝度は相対方位角によって異なり、海面輝度と等しいところもある。



● 天空輝度 ○ 海面輝度
 太陽方位に対する天空輝度と海面輝度
 太陽高度：78° 太陽方位角：180°



● 天空輝度 ○ 海面輝度
 太陽方位に対する天空輝度と海面輝度
 太陽高度：33° 太陽方位角：085°

物標（対象物）を視認するための条件は、①対象物の輝度 ②背景輝度 ③網膜の順応状態（順応輝度）④周辺の視野からの等価光膜輝度である。

本報告は、物標を視認するときの②の影響について検討するものである。①の対象物には船舶、島嶼、橋、航路標識、航海灯などがあるが、現在測定中である。背景輝度の大きい領域では③を無視することができ、④はグレアレンズを用いて測定可能であるが、今回の対象とはしていない。

航海船橋から測定した天空輝度と海面輝度は、太陽方位との相対方位角及び太陽高度の違いにより、様々な照度変化と輝度分布をしている。背景の輝度としての天空輝度・海面輝度と対象物の輝度との差が、輝度差弁別域の範囲内に含まれることも予想され、見張り対象物の視認を妨げるような航海視環境の影響が懸念される。

5. おわりに

海難の減少と海上交通システムの安全性を向上させるために、船舶、システム管理者としての人間、そして航海視環境というシステム構成要素それぞれの機能と特性を把握する必要がある。さらに、海上交通システムにおける最大の海難原因として指摘される「見張り不十分」の要因を探るため、航海視環境の物理的特性と人間の生理的・心理的特性を把握しながら、適切な見張りのための研究を進めなければならないと考える。

身体検査基準表

(船舶職員法第7条の2第3項/船舶職員法施行規則 第9条の2・第40条の2)

健康検査合格標準表
船舶法第83条(健康証明書)/船員法施行規則第55条第2号表

次の各号のいずれかに該当する者は不合格とする。

- 下記の疾患にかかっている者
 - 赤痢
 - 腸チフス
 - パラチフス
 - 発しんチフス
 - コレラ
 - 痘そう
 - しよう紅熱
 - チフテリア
 - 流行性脳脊髄膜炎
 - ペスト
 - 日本脳炎その他これに準ずべき急性熱性病
 - 腸内伝染病保菌者
 - 重症マラリヤ
 - てんかん
 - 精神病
 - 重症ぜんそく
 - 開放性肺結核
 - 下かん又は皮しんのある梅毒
 - 排せうのあるりん病又はのう漏性結膜炎
 - そけいりんば肉芽しゆ症
 - 軟性下かん
 - トラコーマ
 - かいせんその他の悪性伝染病皮膚病
- 下記の障害を有する者
 - 重度精神薄弱
 - 中度精神薄弱
 - 言語機能の喪失
 - 単眼視。
 ただし、言語機能を喪失した者又は単眼視の者で、経歴及び職務により就業に適すると認められる者は、この限りでない。
- 第1号に掲げる疾患を除く下記の疾患にかかっている者で船内において治療の見込みがなく、且つ就業不適と認められる者
 - 各種結核性疾患
 - 新生物
 - 糖尿病
 - 脚気
 - 心臓病
 - 脳出血
 - 脳梗塞
 - 肺炎
 - 胃潰瘍
 - 十二指腸潰瘍
 - 肝硬変
 - 慢性肝炎
 - じん臓炎
 - 急性ひ尿生殖器疾患その他の疾患
- 下記の視力、聴力及び握力の標準に達しない者
 - (1)視力(万国視力表により検査した視力でききよう正視力を含む。)
 - 両眼又は単眼で0.4号を明記しうること。
 - ただし、船員として相当の経歴を有し、職務により就業に適すると認められる者は、この限りでない。
 - (2)聴力
 - 両耳で、5m以上の距離で話声を聴取できること。
 - ただし、船員として相当の経歴を有し、職務により就業に適すると認められる者は、この限りでない。
 - (3)握力
 - 男子の握力は、左右共に25キログラム以上、
 - 女子の握力は、左右共に17キログラム以上であること。
 - ただし、船員として相当の経歴を有し、職務により就業に適すると認められる者は、この限りでない。
- 下記の色神障害を有する船長、甲板部の職員及び部員並びに救命艇手
色盲又は強度の色弱
- 下記の運動器障害を有する者
諸関節の屈伸の自由でない者、指、手、腕又は脚部の部分的又は全体的欠損ある者。
ただし、障害の程度及び職務により就業に適すると認められる者は、この限りでない。
- 病後の衰弱により一定期間内の乗船不適と認められる者

検査項目	身体検査基準	
	甲種	乙種
視力 (5mの距離で万国視力表による。)	裸眼視力が両眼共に0.6以上	視力(矯正視力を含む。以下この表において同じ。)が両眼共に0.6以上であること。 ただし、小型船舶操縦士の資格については、 1. 眼の視力が0.6に満たない者であっても次に掲げる要件に適合することをもって足りる。 1. 他眼の視野が左右150度以上であること。 2. 他眼の視力が0.6以上であること。
弁色力 (海技上(航海)及び小型船舶操縦士の資格に限る。)	完全であること。	色盲又は強度の色弱でないこと。
聴力	両耳共に、5m以上の距離で耳語を弁別できること。	5m以上の距離で話声を弁別できること。 ただし、小型船舶操縦士の資格については、 聴力(補聴器により補われた聴力を含む。)が、船内の騒音を模した騒音の下で300mの距離にある汽笛の音(海上衝突予防法施行規則(昭和52年運輸省令第19号)第18条に規定する汽笛の音であつて、音圧については120デシベルとする。)に相当する音を弁別できることをもって足りる。
眼疾患の有無	斜視その他の眼疾患(軽微なものを除く。)がないこと。	上記の眼疾患があつても軽症で勤務に支障をきたさないと認められること。
疾病及び身体障害の有無	心臓疾患、てんかん、精神障害、言語障害、奇形、四肢の欠損、運動機能障害その他の疾病又は身体障害(軽微なものを除く)がないこと。	上記の疾病又は身体障害があつても軽症で勤務に支障をきたさないと認められること。 ただし、小型船舶操縦士の資格については、身体障害があつてもその障害の程度に応じた補助手段を講ずることにより勤務に支障がないと認められることをもって足りる。

66. 中視程時における各航空灯火の角膜照度分布解析

中山 昌春*、池田 紘一*、小原 清成**、和田 紳一***
 (*東京理科大学) (**株式会社ドーシス) (***)新東京国際空港公団)

1. まえがき

空港に設置されている航空灯火は航空機が安全に離着陸する上でなくてはならない重要な視覚ガイダンスである。航空灯火の光度や設置及び運用方法など安全運航上の灯火に関する基準が I C A O (国際民間航空機関) の専門委員会である V A P (視覚援助施設パネル) 等で定められている。灯火光の伝搬は大気中の粒子によって影響を受けるため、実際の見え方は視覚特性の要因とも絡み合って複雑である。それ故、種々の気象条件の下での見え方を実際に即した形で推定できることが必要である。

本研究では、航空機が着陸する際の滑走路地上灯火について、I C A O 基準に基づきカテゴリー II の空港を想定してシミュレーションを行い、各灯火のパイロットの眼から見た灯火パターンと各灯火による角膜照度とを求めた。更に、視覚実験データと比較して適正な灯火光度について検討を行った。なお、今回は視距離が中程度の R V R 8 0 0 m の場合について報告する。

2. I C A O 配光による灯火パターンと角膜照度分布の解析

検討対象灯火は進入灯、進入側列灯、末端灯、滑走路灯、滑走路中心線灯および接地帯灯としたが、バレットで構成される進入灯、進入側列灯および接地帯灯は各バレットの中心に配列されている灯器を代表として角膜照度の計算を行った。灯火の配置は新東京国際空港をモデルとし、灯火の配光ならびに光度は I C A O が定めているカテゴリー I および II を同時に満たす主ビームの広がりを用いた。主ビームの配光断面は最大：最小が 1 : 3 の三角形で直線近似し、副ビームは 1 0 % および 5 % になる範囲をそれぞれ直線補間すると共に 5 % 未満の範囲は零とした。シミュレーションは B 7 4 7 型機が正規進入する際のコース上に幾つかの観測位置を想定して行った。

シミュレーション結果の一例として、図 (a) ~ (d) に、滑走路視距離が 8 0 0 m の夜間時で背景輝度が 4 [cd/m²]、そして、灯火を T a p 3 (5 % 光度) で点灯した場合について、パイロットがオンコースの 4 地点それぞれの位置で目にする灯列パターンと各灯火による角膜照度分布とを示す。なお、進入灯サイドバレットは赤色光であるので、実験結果に基づく色光効果を考慮して②の実線で示した角膜照度の値を 3.3 倍したのも②'の点線で表示してある。この補正により進入側列灯の赤色灯火は白色の進入灯とほぼ同程度の見え方になっていると言える。しかし、この進入灯と滑走路灯など他の灯火との連続性が取れていないことが分かる。また、眼の閾値感度を 1 0⁻⁷ [lx] として、灯火パターンで見えなくなる位置を図中に示してある。

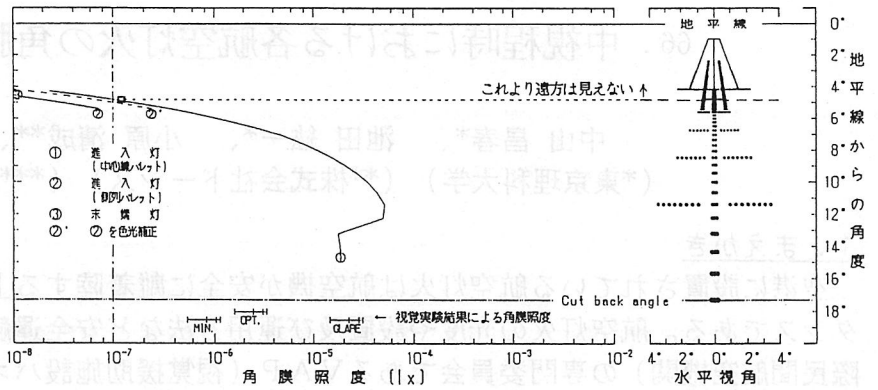
3. 視覚実験データによる見え方との照合

本研究で使用した視覚実験データは照明学会研究委員会報告書¹⁾から引用した。この視覚実験データの中の適正光度に関して、背景輝度や観測距離と角膜照度との関係を新たに求め、本研究に対応した観測距離の下での各代表灯火による適正角膜照度 (OPT.) を推定した。また実用下限 (MIN.) としては視覚実験データを考察して適正值の 1 / 3、グレア下限 (GLARE) としては 9 倍の値を用いることにした。これら角膜照度の範囲を、先のシミュレーション結果の各図中に合わせて記入してある。なお、シミュレーション結果で各代表灯火に該当する所を□印で表示してある。これらと比較すると、P₀ の位置では進入灯しか見えず、近くはまぶしく遠くは見え難くなっている。全般に距離が遠い所ほどグレア下限を上回る灯火が多くなっており、特に進入灯は明らかにまぶしく、他の灯火との連続性も良くないことが分かる。また、P₃ と P₅ の位置ではエイミングポイント付近はほぼ適正に近いが、近くの灯火はまぶしく遠くの灯火は暗く見え難い。この視距離条件では何れの位置においても滑走路全部の灯火を見ることは出来ない。

夜 間

視 距 離 : RVR800m
 $\tau = 1.746 \times 10^{-4} / \text{km}$
 背景輝度 : 4.0cd/m^2
 灯火配光 : ICAO Cat. II
 観測位置 : ON-course
 P₀ L=1175.2m, H=85.7m
 点灯タップ : Tap 3

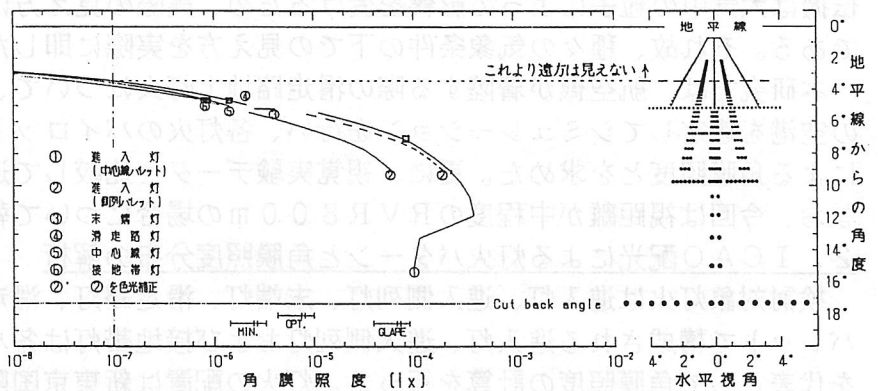
図 (a)



夜 間

視 距 離 : RVR800m
 $\tau = 1.746 \times 10^{-4} / \text{km}$
 背景輝度 : 4.0cd/m^2
 灯火配光 : ICAO Cat. II
 観測位置 : ON-course
 P₃ L=634.2m, H=57.4m
 点灯タップ : Tap 3

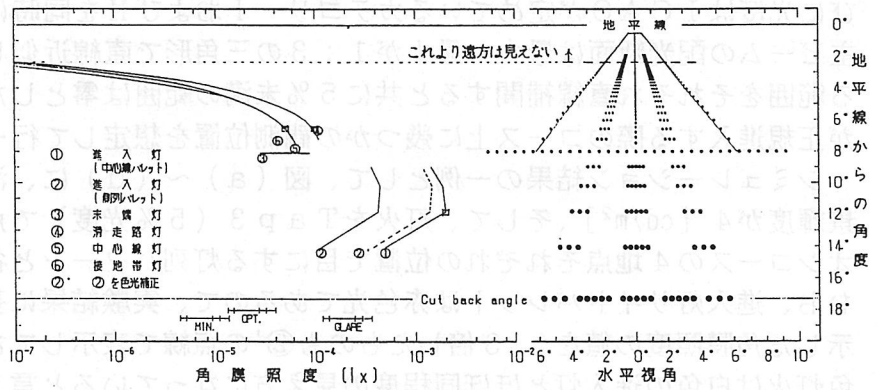
図 (b)



夜 間

視 距 離 : RVR800m
 $\tau = 1.746 \times 10^{-4} / \text{km}$
 背景輝度 : 4.0cd/m^2
 灯火配光 : ICAO Cat. II
 観測位置 : ON-course
 P₅ L=273.5m, H=38.5m
 点灯タップ : Tap 3

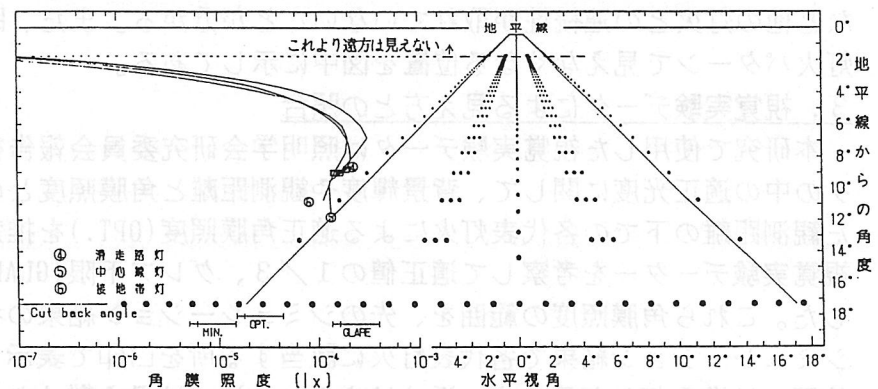
図 (c)



夜 間

視 距 離 : RVR800m
 $\tau = 1.746 \times 10^{-4} / \text{km}$
 背景輝度 : 4.0cd/m^2
 灯火配光 : ICAO Cat. II
 観測位置 : ON-course
 P₆ L=93.2m, H=29.0m
 点灯タップ : Tap 3

図 (d)



4. あとがき

今回のシミュレーション結果にはコックピットのウインドシールドによる光の減衰を1/3として補正を加えてあり、ほぼ実際の見え方に即した条件を加味している。今後は低視程条件の下での見え方についても検討していく予定である。

[参考文献] 1) 小原清成ほか: 「進入・滑走路灯火の試験研究報告書」
 (財)航空振興財団(照明学会受託)昭和54年2月

4. あとがき

本研究調査委員会は、「道路交通における視覚情報研究調査委員会」の後を引き継ぎ、高機能化する交通環境の中で安全性と事故防止という観点から調査・分析研究すること情報の交換を主たる活動として発足した。特に、人間の視覚特性を中心に視認性や注意、作業中の情報取得特性また交通信号機や標識などの安全施設と人間との整合性などについて検討を行った。本委員会で検討された事柄が各位の今後の研究・製品の開発などに役立つものと考えている。

今日の交通環境は多くの情報提示とともに、高機能化が進められている中で人間との整合性が重要な課題である。今後ともこの領域の研究の意義を考えて、研究がさらに発展することを期待したい。

