

視覚・聴覚事象関連電位を用いた ドライバ・ディストラクションの評価

江 部 和 俊

新潟大学大学院医歯学総合研究科

脳機能解析学分野

(主任：中田 力教授)

Drivers' Distraction Assessed by Combination of Visual and Auditory Event - related Brain Potentials

Kazutoshi EBE

Division of Integrated Neuroscience, Niigata University

Graduate School of Medical and Dental Science

(Director: Prof. Tsutomu NAKADA)

要 旨

【背景】我々の環境は、視覚刺激や聴覚刺激をはじめとする様々な感覚刺激に溢れている。そのため、行動の適切な遂行には、脳への複数の感覚入力の間で神経処理リソースの適切な配分を行う、いわゆる“注意”機能が、重要な役割を果たす。なかでも自動車運転は、そのような処理リソース配分を必要とする最も重要な日常行動のひとつである。

【目的】自動車運転とは無関係な妨害音に対する処理リソースの不適切な配分、すなわちドライバ・ディストラクションを、事象関連電位（ERP）を用いて電気生理学的に評価することを試みた。

【方法】ディストラクタとして様々な自然音刺激（ベル音、叫び声等）を提示する「音あり」条件と提示しない「音なし」条件で、被験者にドライビング・シミュレータ上の追従走行課題を課した。ディストラクタ音は無視するように指示した。先行車のブレーキランプ点灯に対する視覚 ERP と、ディストラクタ音に対する聴覚 ERP を計測した。

【結果・考察】「音あり」条件では、「音なし」条件と比べて運転の行動指標（車間距離の変動係数）が悪化するとともに、先行車のブレーキランプ点灯に対する視覚 P3 の振幅も減少した。このことから、ディストラクタ音が運転課題に対する視覚的注意の焦点化を困難にし、それが運転成績の低下につながったことが示唆された。さらに、「音あり」条件での運転成績下位群では、成績上位群に比べてディストラクタ音に対する聴覚 P3 が大きく、ディストラクタ音に対する処理リソースの過剰な配分が、運転成績の劣化に影響している可能性が示唆された。

Reprint requests to: Kazutoshi EBE
Dept of Integrated Neuroscience
Center for Integrated Human Brain Science
Brain Research Institute Niigata University
1-757 Asahimachi - dori Chuo - ku,
Niigata 951 - 8585 Japan

別刷請求先：〒951-8585 新潟市中央区旭町通 1-757
新潟大学脳研究所統合脳機能研究センター
脳機能解析学分野 江 部 和 俊

【結論】現実的な運転状況下でERPにより神経活動をモニタすることは、安全運転を支える脳機能の解析に有用と考えられた。

キーワード：car driving, distraction, attention, event-related brain potentials

緒 言

我々の環境は、視覚刺激や聴覚刺激をはじめとする様々な感覚刺激に満ち溢れているが、必ずしもそれらのひとつひとつの刺激に惑わされたりしない。それは、脳の“注意”機能により、複数の刺激入力に対する神経処理リソースの適切な配分が行われるからである。自動車運転は、そのような処理リソースの配分を必要とする代表的な日常行動であり、例えば携帯電話による会話が運転やドライビング・シミュレータ課題の成績に劇的に影響することが示されている^{1)–9)}。しかし一方、携帯電話での会話のようにドライバが意図的（トップダウン的）に処理リソースを配分する必要がなく、むしろ逆に無視する事が適当な妨害刺激（ディストラクタ）に晒されることが自動車運転に与える影響については、ほとんど明らかにされていない。

本研究では、注意による処理リソース配分を反映する事象関連電位（event-related potential, ERP）成分のひとつであるP3^{10)–14)}を利用して、主課題（運転）から妨害刺激（ディストラクタ）への処理リソースの不適切なシフト、すなわちドライバ・ディストラクションの、電気生理学的な評価を試みた。

方 法

インフォームド・コンセントが得られた22名のボランティア（19歳～41歳、男性18名、女性4名）が実験に参加した。ただし後述の理由により、4名（男性3名、女性1名）のデータを解析から除外した。すべての被験者の視力もしくは矯正視力は正常であり、神経学的、精神的な疾患の履歴はなかった。実験は、新潟大学の倫理委員会

のガイドラインに則って行われた。

運転課題の視覚刺激制御と行動指標の記録には、自作のドライビング・シミュレータを利用した（図1）。課題は、2車線の直線平坦路において、車線を維持したまま40–80km/時の範囲で加減速する先行車に対し、目測で5m程度の一定の車間距離を保って追従走行することであった。先行車が減速する際には、その後部の赤いブレーキランプが点灯した。先行車以外の車両や歩行者はなかった。先行車との車間距離、アクセルペダル・ブレーキペダルの踏み込み量を含むいくつかの行動パラメータが50ms間隔で記録された。運転課題の走行は1回につき約4分であり、その間に先行車は30回減速した。

運転課題は、ディストラクタ音の有無で2条件設けた。「音なし」条件では、一切の聴覚刺激提



図1 実験シーン

模擬運転課題遂行中の被験者の様子。実験に用いたシーンは、21インチCRTモニタに映された2車線の直線平坦路で、自作のドライビング・シミュレータプログラムにより被験者の操作に基づき連続的に制御した。

示はなく、被験者は無音で運転課題だけを行った。一方、「音あり」条件では、課題と無関連のディストラクタ音が提示され、被験者はこれを見無視するよう指示された。ディストラクタ音は、ベルの音、男性の叫び声などの自然音が全部で45種類用意され（持続時間158ms～841ms、平均574ms）、それが各1回ずつ、90dB SPLの音圧で4.5s～5.5sの間のランダムな時間間隔でヘッドフォンを介して提示された。聴覚刺激提示にはSTIMシステム（Neuroscan Labs Inc., El Paso, USA）を用いた。

全ての被験者において、最初に運転課題の練習を4回行った後、「音なし」条件、「音あり」条件の順で、各1回ずつ計測が行われた。「音なし」条件においては、先行車のブレーキランプに対する視覚ERPが記録され、「音あり」条件においては、この視覚ERPの他、ディストラクタ音に対する聴覚ERPも記録された。

脳波は、国際10-20法に従ってFz、Cz、Pzに設置した銀皿電極から記録した。また左眼窩下から眼電図（vEOG）も記録した。脳波計測中の電極間インピーダンスは5kΩ以下に保たれた。脳波と眼電図は、両耳梁連結を基準とし、32チャンネルSynAmp（Neuroscan Labs Inc., El Paso, USA）を用い、増幅率500倍、サンプリング周波数1kHz、バンドパスフィルタ0.05～100Hzで記録した。その後、各刺激の開始を基準に、刺激前200msから刺激後823msの区間で切り出し、刺激前区間の平均値により振幅のベースライン補正を行った後、±100μVを閾値としてアーチファクトの混入した試行を除去した。その後、各刺激の種類ごとに刺激の開始点を基準として脳波を加算平均し、ERPを求め、30Hz（48dB/oct）のローパスフィルタを施した。P3振幅は、視覚P3と聴覚P3のいずれについても、刺激後260ms～360msの区間の平均振幅とした。

結 果

運転行動

「音なし」条件において、先行車との車間距離

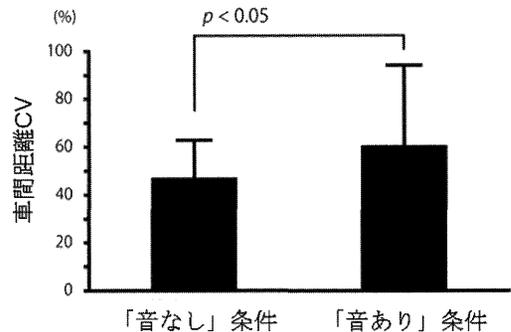


図2 車間距離 CV

車間距離 CV は、「音あり」条件で有意に $[F(1, 17) = 4.8, p < 0.05]$ 大きかった。

（1回約4分間の走行中の平均）は、被験者間平均が6.3m、標準偏差が2.6mであり、その分布範囲は3.1～12.5mであった。この分布の上限を見ると、一部の被験者においては、目測で約5mの車間距離を保つとの指示が必ずしも守られなかったことが分かる。車間距離が大きいと追従課題が極端に簡単になる問題があるため、車間距離が被験者全体の平均値＋1標準偏差、すなわち8.9mを超えた4名については、以降の解析から除外した。その結果、残った18人の被験者の車間距離は、1回約4分間の走行中の平均が5.2m、標準偏差が1.3mとなった。更に、車間距離の個人差の影響を軽減するために、運転課題の遂行度を測る行動指標としては、平均車間距離そのものではなく、車間距離の時間変動、すなわち、車間距離の変動係数（coefficient of variation, CV）を利用した。小さいCVは、走行中の車間距離が一定に保たれたことを示す。

車間距離 CV を「音なし」条件と「音あり」条件で比較することにより、ディストラクタ音が運転に与える影響を調べた。結果、車間距離 CV は「音あり」条件で増大しており（図2）、繰返しのある1要因の分散分析で解析したところ、この差は統計学的に有意であった $[F(1, 17) = 4.8, p < 0.05]$ 。

電気生理

視覚 P3：先行車のブレーキランプ点灯によって視覚 P3 が頭頂部 (Pz) に誘発され、その振幅は「音あり」条件で「音なし」条件よりも小さく (図 3 上図)、繰返しのある 1 要因の分散分析で解析したところ、その差は統計学的に有意であった [$F(1, 17) = 4.7, p < 0.05$].

聴覚 P3：車間距離 CV のデータを詳細に検討すると、その個人差は「音なし」条件よりも「音あり」条件の方が大きく (図 2, 誤差バー)、この差は統計学的にも有意であった [F 検定: $F(17, 17) = 4.5, p < 0.005$]. つまり、ディストラクタ音が運転行動に影響する程度には、比較的大きな個人差があったと考えられる。

そこで、ディストラクタ音に影響を受けやすい者と受けにくい者で、ディストラクタ音の脳内処理に違いがあるか検討するため、ディストラクタ音に対する聴覚 ERP を解析した。「音あり」条件での車間距離 CV に基づいて、成績上位 9 名 (車間距離 CV 小) と下位 9 名 (車間距離 CV 大) に被験者を群分けした上で、それぞれの群の聴覚 P3 を求めたところ (図 3 下図)、成績下位群では、上位群に比べて、聴覚 P3 の振幅が有意に大きかった [$F(1, 16) = 4.8, p < 0.05$]. なお、視覚 P3 についても同様のグループ比較を行ったが、「音あり」条件における視覚 P3 振幅に、成績の違いによる差は認められなかった [$F(1, 16) = 1.1, p = 0.32$].

考 察

運転課題の成績 (車間距離 CV) は、「音なし」条件と比べて「音あり」条件で有意に低下した。つまり、携帯電話での通話のようにドライバが自ら一定の処理リソースを配分する必要がなく、むしろ無視をすることが望ましいディストラクタ音が提示されるだけで、運転行動が悪影響を受け得ることが示された。電気生理学的には、先行車のブレーキランプ点灯に対する視覚 P3 の振幅が、ディストラクタ音の存在によって有意に減少した (図 3 上図)。以上の結果から、安全運転に必要な視覚情報処理に

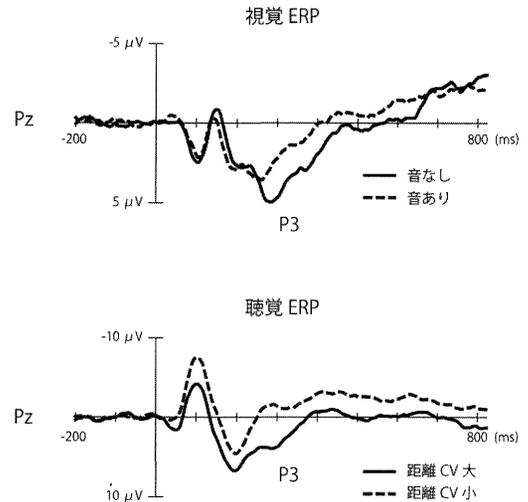


図 3 視覚・聴覚 ERPs

Pz における視覚 ERPs (上図) および聴覚 ERPs (下図)。時刻 0ms は、それぞれ視覚刺激 (ブレーキランプ点灯) および聴覚刺激 (ディストラクタ音) の開始点を示す。解析区間は刺激前 200ms から刺激後 823ms である。

視覚 ERPs の実線は、「音なし」条件、破線は「音あり」条件の結果である。また、聴覚 ERPs の実線は、車間距離 CV の大きい群 (成績下位群)、破線は、車間距離 CV の小さい群 (成績上位群) の結果である。

対する処理リソースの適切な配分がディストラクタ音により阻害され、それが運転成績の悪化につながったと推察される。

興味深いことに、「音あり」条件でディストラクタ音が運転行動に影響する程度には、大きな個人差が認められた。そこで、「音あり」条件での運転成績に基づいて被験者を 2 群に分けて解析したところ、ディストラクタ音に対する聴覚 ERP の P3 振幅は、成績下位群で有意に大きかった (図 3 下図)。ディストラクタ音に対する注意の自動的キャプチャを抑制できず、その聴覚情報処理に過剰なりソースを割いたことが、成績下位群での特に大きな成績低下につながったと考えられる。

行動計測のみに基づいたドライビング研究^{cf. 9)15)}

と比較すると、ERPを併用した研究は、運転中の脳内処理リソースの配分をより直接的に評価できるなど、明らかな利点を有する。特にドライバ・ディストラクションの研究においては、(行動学的には捉えにくい)無視すべき妨害刺激の脳処理を評価できるなど、安全運転を支える脳機能について有用な洞察を与えてくれる。

本研究でも、妨害音による注意のキャプチャといった情報処理能力の個人差が、運転成績に影響する可能性が示唆された。運転成績は、単純な行動学的な評価が可能な運転技能だけではなく、ERP計測によって初めて評価され得るような様々な脳情報処理能力に影響されるだろう。ひいては、これらの情報処理能力を訓練することによって、運転能力を向上させることも期待できる。これは、運転訓練という実用上の有用性を秘めており、今後の重要な研究課題である。

謝 辞

ご指導いただきました新潟大学大学院医歯学総合研究科脳機能解析学分野 中田 力教授、松澤 等准教授、伊藤浩介助教、および国立病院機構沖縄病院神経内科 諏訪園秀吾医長に深謝いたします。

文 献

- 1) Brown ID, Tickner AH and Simmonds DCV: Interference between concurrent tasks of driving and telephoning. *J. Applied Psychology*. 53: 419 - 424, 1969.
- 2) Briem V and Hedman LR: Behavioural effects of mobile telephone use during simulated driving. *Ergonomics* 38: 2536 - 2562, 1995.
- 3) McKnight AJ and McKnight AS: The effect of cellular phone use upon driver attention. *Accid. Anal. Prev.* 25: 259 - 265, 1993.
- 4) Goodman MF, Bents FD, Tijernia L, Wierwille W, Lerner N and Benel D: An investigation of the safety implications of wireless communication in vehicles: Report summary (Department of Transportation electric publication). <http://www.nhtsa.dot.gov/people/injury/research/#rep>
- 5) Redelmeier DA and Tibshirani RJ: Association between cellular - telephone calls and motor vehicle collisions. *N. Engl. J. Med.* 336: 453 - 458, 1997.
- 6) Strayer DL and Johnston WA: Driven to distraction: dual - Task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychol. Sci.* 12: 462 - 466, 2001.
- 7) Strayer DL, Drews FA and Crouch DJ: Fatal distraction? A comparison of the cell - phone driver and the drunk driver. In *Proceedings of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design* (pp.25 - 30). Iowa City: Driving Assessment 2003/University of Iowa.
- 8) Strayer DL, Drews FA and Johnston WA: Cell phone - induced failures of visual attention during simulated driving. *J. Exp. Psychol. Appl.* 9: 23 - 32, 2003.
- 9) Strayer DL and Drews FA: Profiles in driver distraction: effects of cell phone conversations on younger and older drivers. *Human Factors* 46: 640 - 649, 2004.
- 10) Sutton S: Evoked - Potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* 150: 1187 - 1188, 1965.
- 11) Squires NK, Squires KC and Hillyard SA: Two varieties of long - latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 38: 387 - 401, 1975.
- 12) Knight RT, Grabowecy MF and Scabini D: Role of human prefrontal cortex in attention control. *Adv. Neurol.* 66: 21 - 34, 1995.
- 13) Soltani M and Knight RT: Neural origins of the P300. *Crit. Rev. Neurobiol.* 14: 199 - 224, 2000.
- 14) Polich J: Clinical application of the P300 event - related brain potential. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 15: 133 - 161, 2004.
- 15) Kramer AF, Sirevaag EJ and Braune R: A psychophysiological assessment of operator workload during simulated flight missions. *Human Factors* 29: 145 - 160, 1987.

(平成 23 年 12 月 15 日受付)