

## 眠気と交通安全

高橋正也\*

交通安全のために適切に管理すべきである眠気について、その生理学および職業的な要因を最近の研究成果に基づいて概括する。今回は睡眠の調節機構（体内時計と覚醒時間）をはじめ、睡眠傾向、長時間覚醒、運転前の睡眠、睡眠慣性、加齢、熟練度、個人差、勤務スケジュールを取り上げる。また、運転中の眠気を予防する対策として、光環境と仮眠に注目する。運転者であれば誰しも経験する眠気に関する正しい理解は交通安全の確保につながる第一歩と言える。

### Physiologic and Occupational Factors for Sleepiness-Related Accidents on the Road

Masaya TAKAHASHI\*

Ensuring road safety needs adequate control of sleepiness. Sleepiness is a common but highly complicated process and can be influenced by a variety of physiologic and occupational factors for healthy people. This paper addresses sleep regulation (circadian timing systems and prior wakefulness), some sleep-related phenomena, aging, interindividual differences, and work schedules. As promising candidates for preventive measures against driving sleepiness, the effects of ambient light environment and napping are discussed. Increased awareness of sleepiness is linked to improved safety among drivers, passengers, and walking persons.

#### 1. はじめに

人間が自動車を運転する限り、眠気を無視することはできない。この事実は従来から広く認識されている<sup>1-4)</sup>。最近の研究によれば、睡眠潜時反復検査で測定した客観的な眠気の増加は警察当局から得た事故事例の増加と有意に関連すると示されている(Fig.1)<sup>5)</sup>。よって、交通安全の確保には眠気の管理が中核であると言える。ただしこの図において眠気なしと判定された群(検査対象者の56%)であっても、その47%は交通事故を経験していることに注意した

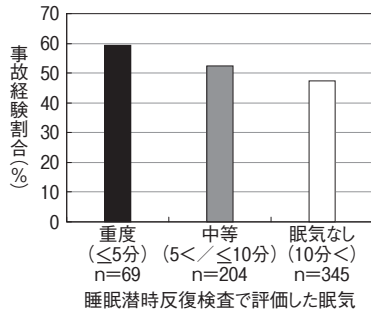
い。眠気による交通事故は全体の約20%と推定されているように<sup>6,7)</sup>、事故の原因は多様である。そのうえ眠気の原因も多岐にわたる<sup>8)</sup>。双方ともに複雑な現象を取り扱うのは容易ではないが、本来、効率的な移動や物流、そして余暇や旅行としての運転が事故という悲劇によって、加害者も被害者も不幸になる事態は必ず減らさなければならない。

本稿では、眠気と交通安全に関連する主要な要因を生理学および職業的な視点から取り上げる。また、眠気を予防するための対策についても議論する。

#### 2. 睡眠の調節

眠気を理解するには、まず睡眠の基本的なメカニズムについて知る必要がある。睡眠は体内時計と覚醒時間という二つの要素によって調節される<sup>9,10)</sup>。

\* 独立行政法人労働安全衛生総合研究所上席研究員  
Senior Researcher,  
National Institute of Occupational Safety and Health  
原稿受理 2010年1月13日



注1) 事故経験は1995～2005年における警察当局のデータに基づく。終夜睡眠ポリグラフと睡眠潜時反復検査は1999～2003年に実施。

2) 三群間の有意差あり (Cochran-Armitage Trend Test,  $p<0.05$ )。

Fig. 1 客観的な眠気と事故経験割合<sup>5)</sup>

脳の視床下部にある直径1mm程度の神経核(視交叉上核)は、体内における中枢時計としてほかの器官にある末梢時計と連携しながら、活動や睡眠のタイミングを制御する。昼行性の我々は昼間に積極的に活動し、夜間に休息・睡眠をとることになる。これに対応するように眠気は昼間には低く、夜間にかけて高くなるという基本的な変動を示す。

一方、覚醒時間の影響はある意味、シンプルである。連続した覚醒時間が長くなるほど眠りに対する要求は強まる。そして、睡眠をとることによって、その要求は急速に低減する。もし睡眠をとらなければ、眠りに対する要求は増加し続けることになる。夜更かしのときに感じる強い眠気はこのような背景による。

睡眠の量と質は、実際には体内時計と覚醒時間による影響の相互作用を受けて決められる。どのような睡眠をとったかは、引き続き覚醒期における眠気や作業能力に大きな影響を与えることになる。

### 3. 眠気の生理学的要因

#### 3-1 睡眠傾向

上述したように、夜間に眠くなるのは我々の基本的な特徴であるが、午後の始め(14～16時)にも眠気の高まることが知られている<sup>11)</sup>。眠りやすさ(睡眠傾向)の時刻分布は Fig.2 のように表される<sup>12)</sup>。午後の眠気の上昇をもたらすメカニズムは解明されてはいないけれども、昼食の摂取に必ずしもかわらないことは確かめられている<sup>11,13)</sup>。

では、実際の事故が何時に起きているかは興味のあるところである。例えば事業用自動車の事故に関する国土交通省のデータ(2007年)をみると、トラッ

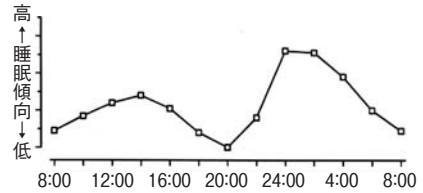


Fig. 2 睡眠傾向(眠りやすさ)の日内変動<sup>12)</sup>

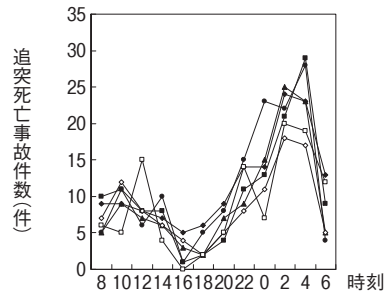
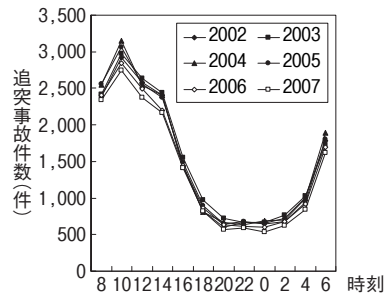


Fig. 3 わが国におけるトラックの追突事故と追突死亡事故の時刻分布<sup>15)</sup>

クによる事故は年間約32,000件であり、全件数の51.7%に達している<sup>14)</sup>。死亡者数は547名に及び、同じく全体の89.7%を占めている。トラックを例に2002年から2007年における事故の発生時刻に調べると、追突事故は朝から午後の始めにかけてよく生じている(Fig.3上段)<sup>15)</sup>。しかし、より深刻である追突死亡事故は夜間、とくに深夜から明け方にかけて顕著に増加している(Fig.3下段)。しかも発生件数に若干の差はあれども、時刻分布は各年で同様である。Fig.2と Fig.3下段とを比べると、同じようなパターンを示していることがわかる。もちろん両者を一対一で結びつけられないが、睡眠傾向を追突死亡事故の重要な要因としてとらえてよいと思われる<sup>1,3)</sup>。

#### 3-2 長時間の覚醒

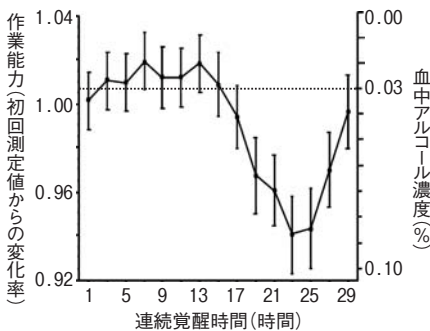
覚醒時間が長くなればなるほど眠気は高まり、作業能力は低下することは既に述べた。より重要なのは、その程度(深刻さ)である。今から10年以上も前にNature誌に発表された知見ではあるが、アルコ

ール摂取による作業能力の低下を参照にして、長時間覚醒の効果を検証した実験結果はきわめて有用である<sup>16)</sup>。Fig.4のとおり、覚醒時間が15時間までは一定の作業能力を保持できた。しかし覚醒時間が17時間を超えると、血中アルコール濃度0.03%の時よりも作業能力は低下し、覚醒時間が24時間になると血中濃度0.09%の時と同じくらいに悪化した。したがって、長時間起きていることはアルコールをとっていないにもかかわらず、飲酒時と同じような効果を持つと考えられる。

現行の道路交通法では、血中アルコール濃度0.03%以上では酒気帯び運転と判定され、最低でも13点の違反点数、3年以下の懲役または50万円以下の罰金が課せられる。飲酒運転にはこれほどの厳罰が与えられている。しかも「飲んだら乗るな」というメッセージを知らない運転者はいない。長時間の覚醒を長時間の運転と言い換えると、上記の結果に基づけば、それは飲酒運転と本質的に同義とみなせる。であれば、「寝てないなら乗るな／乗るなら眠れ」というメッセージは合理的と言えるはずである。にもかかわらず、このメッセージは社会的に十分に浸透し、機能しているとは言えない。

3-3 運転前にとる睡眠

最近の専門的見解によれば、仕事の安全を保证するには勤務時間の長さの適正化のみならず、勤務時間以外、とくに勤務が始まる前までに十分な睡眠を確保できるかがカギとされている<sup>17)</sup>。筆者らは813名のトラック運転手を対象に、最も直近に行われた勤務の開始時刻から24時間前までにとられた総睡眠時間(仮眠を含む)を調べた<sup>18)</sup>。同時に、過去1年間における運転中のヒヤリハット、居眠り運転、交通事故の経験を尋ね、両者の関連を横断的に検討し



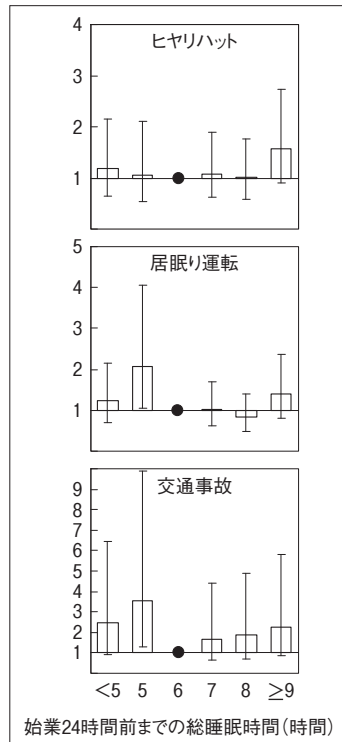
注) 作業はコンピュータを使った追跡課題。実験は午前8時から翌日の昼12時まで。データは平均と標準誤差。

Fig. 4 作業能力に及ぼす覚醒時間とアルコールの影響<sup>16)</sup>

た。Fig.5にまとめたとおり、勤務開始24時間前の総睡眠時間とヒヤリハットには有意な関連が認められなかった。しかし6時間睡眠群に比べて5時間睡眠群は、居眠り運転(調整済みオッズ比2.07、95%信頼区間1.05-4.07)、交通事故(3.53、1.27-9.87)が有意に起こりやすかった。さらに5時間未満睡眠群では交通事故の起こりやすい傾向が認められた(2.47、0.94-6.48)。横断的なデザインゆえ、因果関係は言及できないが、体内時計や覚醒時間とは別に運転前の睡眠時間の重要性を示している。また、これらの結果は5時間またはそれ未満の睡眠では作業能力が保てないというトラック運転手を対象にした近年の実験結果とよく一致する<sup>19)</sup>。

3-4 睡眠慣性

睡眠に関連した特有の現象として、睡眠慣性がある。睡眠慣性とは、睡眠から目覚めた直後に生じる眠気の増加や作業能力の低下と定義される<sup>20)</sup>。この現象は数時間にわたる睡眠の直後であれ、短時間の仮眠の直後であれ、現れる。睡眠慣性はそれほど長く続くものではなく、通常15-20分で消失する。し



注) 縦軸は6時間睡眠群を参照としたときの調整済みオッズ比。エラーバーは95%信頼区間。

Fig. 5 始業24時間前までの総睡眠時間と不安全運転との関連<sup>18)</sup>

かし一時的な変化であっても、その間は安全が保たれない可能性はある。事実、睡眠から目覚めて1分後に測定した作業能力(2桁の加算の正答数)は最高時の65%程度に低下することが明らかにされている(Fig.6)<sup>21)</sup>。さらに興味深いのは、16時間の覚醒を経てさらに10時間の断眠を行い、のべ26時間にわたる連続覚醒後と比べても、起床直後の作業能力は有意に低かったことである(Bonferroni planned comparison、 $P<0.05$ )。別の最近の研究では、体内時計からの調節が睡眠慣性には強く働き、深夜(午前2時ごろ)に睡眠慣性の影響が最大となることが判明している<sup>22)</sup>。

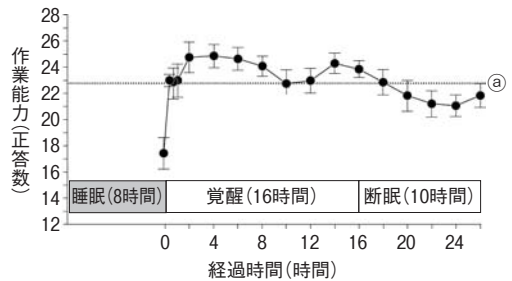
長時間や夜間の運転の場合、仮眠をとることがしばしばある。上記の結果を考慮すると、仮眠から目覚めてすぐに運転を再開するのは注意を要すると言える。タクシーやトラックの運転手との談話からは、仮眠直後の運転ではヒヤリハットや小さな対物事故を経験しがちであることを確認している。

### 3-5 加齢

加齢に伴って睡眠は大きく変化する。眠気を含めた覚醒時の機能も同様である。加齢と運転時刻の影響を同時に検証した最近のデータを、Fig.7に示した<sup>23)</sup>。夕方の運転では若齢群と高齢群との間にどの指標も有意差は認められなかった。対照的に、夜間の運転では運転能力には群間差はなかったが、脳波シグマパワーは、高齢群で若齢群より有意に増加し(運転時刻と加齢の交互作用、 $P<0.05$ )、脳波ベータパワーも増加傾向であった。高齢群は主観的眠気も有意に低かった(運転時刻と加齢の交互作用、 $P<0.05$ )。シグマやベータという早い帯域の脳波は眠気の抑制あるいは覚醒の維持に関連することから、高齢群では夜間に高まる眠気に適切に対応できるのかもしれない。この見解は、26時間断眠中にみられる緩徐眼球運動(生理学的眠気の指標の一つ)の増加や神経行動機能の悪化が、高齢群(65~76歳)で若齢群(18~29歳)より緩やかであったという最近の知見からも支持される<sup>24)</sup>。また疫学的研究の多くは、少なくとも70歳までであれば、高齢運転者の高い安全性を一貫して示してい

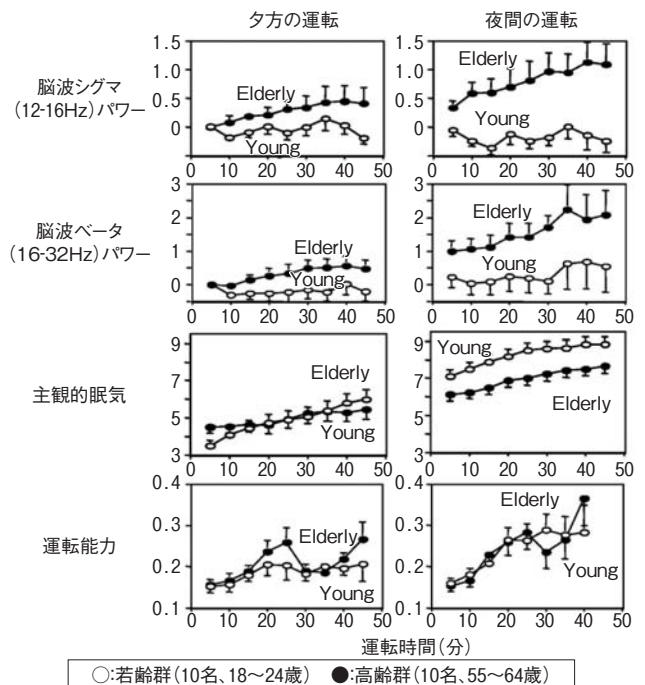
る<sup>25-28)</sup>。

年齢を重ねることは運転経験の増加、ひいては熟練度の向上ともとらえられる。熟練運転者と非熟練運転者との間でハザード知覚の早さを午前中と深夜に分けて比較した研究がある<sup>29)</sup>。Fig.8に表されるように、熟練群は運転の時間帯にかかわらず、非熟練群より早くハザードを知覚した。それに対して非熟練群では、午前中に比べて深夜になるとハザード



注) 作業は暗算課題。点線②は実験期間全体の平均値。覚醒と断眠をあわせた26時間は恒常条件下の測定。データは平均と標準誤差。

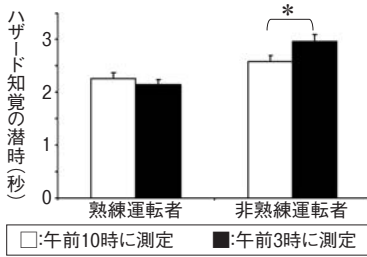
Fig. 6 作業能力に及ぼす睡眠慣性の影響<sup>21)</sup>



注) 夕方は午後6時または午後7時半から。夜間は午前2時半または午前4時から。それぞれ45分間の運転。脳波パワーは夕方からの最初の5分間の値をもとに個人内で標準化。主観的眠気はカロリンスカ眠気尺度で測定。運転能力は車線内の横方向位置の標準偏差(メートル)として測定。データは平均と標準誤差。

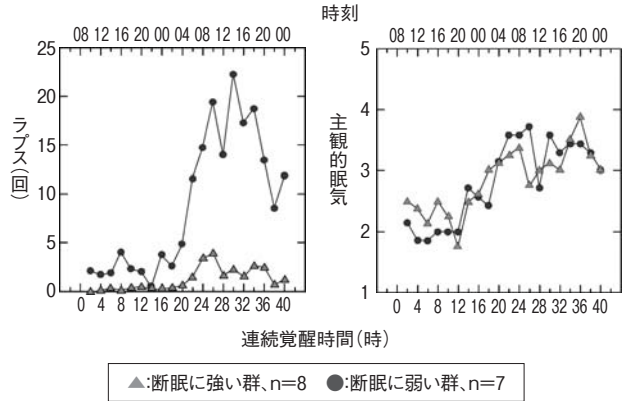
Fig. 7 眠気と運転能力に関する加齢差<sup>23)</sup>





注1) 熟練運転者(30名、平均48.2歳、平均運転歴14.4年)、非熟練運転者(32名、19.1歳、1.7年)。  
2) \* : 時間帯間の有意差あり(t検定、 $P < 0.05$ )。データは平均と標準誤差

Fig. 8 運転の熟練度と時間帯との交互作用<sup>29)</sup>



注) ラプスは0.5秒を超えても刺激に反応できなかった試行。主観的眠気はスタンフォード眠気尺度で測定。▲、●以外の群(n=9)は省略。

Fig. 9 長時間断眠に対する反応の個人差<sup>30)</sup>

知覚はより遅れることが判明した。このような運転の熟練度と時間帯との交互作用は、現実にかかる事故の背景にあると予想される。

### 3-6 個人差

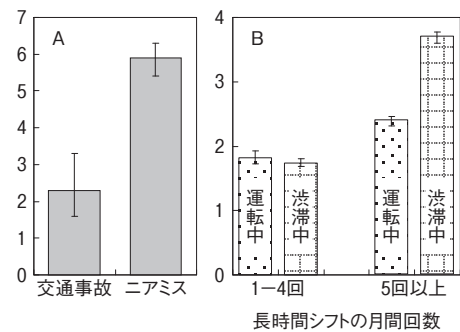
睡眠や眠気の問題は通常、集団の平均値でもって議論される。しかし同じ環境条件であっても、反応は個人によって大幅に異なる場合がある。近年、眠気の個人差(脆弱性)について関心が高まっている<sup>30)</sup>。例えば連続40時間という長い覚醒を要求されたときに、神経行動機能はそれほど悪化しない群もあれば、20時間を過ぎたあたりから極端に悪化する群もある(Fig.9左)。興味深いのは、主観的な眠気に関して両群には差がないことである(Fig.9右)。長時間覚醒に弱い群は、客観的には悪化している自らの神経行動機能を正しく評価できない可能性が考えられる。

こうした眠気の個人差を、近年目覚ましく解明が進んでいる時計遺伝子から説明しようという試みが増えている<sup>31)</sup>。なかでも、Per3遺伝子の多型(Per3<sup>5/5</sup>、Per3<sup>4/4</sup>)が注目されている<sup>32)</sup>。Per3<sup>5/5</sup>というタイプは、Per3<sup>4/4</sup>に比べて、断眠時には脳波や緩徐眼球運動から測定した眠気が強く、神経行動機能も明け方で顕著に低下しやすいことが明らかになっている<sup>33)</sup>。ただし、時計遺伝子の働きのみで眠気や行動面の変化を説明するには限界が多いことに留意する必要がある<sup>30)</sup>。

## 4. 職場における眠気の要因と対策

### 4-1 眠気をもたらす職業要因

職場には眠気をもたらす多数の要因が存在する。



注) A : 長時間(連続24時間以上)シフト後の帰宅途中での運転事故とニアミスの起こりやすさ(参照は非長時間シフト後)。B : 長時間シフトの月間回数に伴う運転中、渋滞中の居眠りの起こりやすさ(参照はその月間回数が0回)。縦軸はオッズ比、エラーバーは95%信頼区間。

Fig. 10 長時間シフト勤務者における不安全運転<sup>37)</sup>

なにより着目しなければならないのは、勤務のスケジュールである。長時間労働はいわば長時間覚醒とみなせるわけであり、それに伴って事故の危険性が高まることがよく知られている<sup>34,35)</sup>。交代勤務では体内時計から出される活動・睡眠の指令とは関係なく、働き、眠ることを余儀なくされる。日勤だけの勤務に比べれば、交代勤務は勤務中に眠気が増加し、事故も起こりやすくなる<sup>36)</sup>。とりわけ、夜勤においてはそれらの傾向は強まる。

勤務時間中もさることながら、勤務を終えた後も気を緩めることはできない。バスや電車などの公共交通機関で帰宅するのであれば問題はないけれども、長時間勤務後や夜勤明けに自分で運転して帰宅するのは、実は眠気関連事故を招きやすい状況となる。研修医を対象にした研究では、連続24時間以上の勤

務後の帰宅途中では、そうでないときと比較すると、交通事故は2.3倍(95%信頼区間1.6-3.3)、ニアミスは5.9倍(5.4-6.3)起こりやすいと示されている(Fig. 10A)<sup>37)</sup>。さらに、長時間勤務の頻度との関連を調べた結果、長時間勤務の月間回数の増加に伴って、運転中および渋滞中の居眠りが増加することも判明している(Fig.10B)。同様の関連は看護師を対象にした研究でも報告されている<sup>38,39)</sup>。

#### 4-2 眠気予防のための職場対策

眠気が交通安全の脅威となるのであれば、効果的な対策が求められる。ここでは光環境の調整と仮眠という二つの対策を取り上げて議論する。高照度あるいは青色波長の光は脳内の覚醒中枢に対する直接的な作用として、また体内時計の調節を介した間接的な作用として、眠気を低減する<sup>40-43)</sup>。運転中の眠気改善を目指した研究はいくつか行われてきたが、光ばく露によって主観的な眠気は低下したものの、脳波から評価した眠気は変わらなかった<sup>44)</sup>、あるいは主観的な眠気にすら、ばく露効果は現れなかった<sup>45)</sup>などが報告されている。一方、低照度(約1 lux)で波長の異なる三種類の光(青色460nm、赤色640nm、白色)を用いた最近の実験では、脳波や緩徐眼球運動を指標とした生理的な眠気、神経行動機能を改善する作用は青色光が最も強かったけれども、主観的な眠気やドライビングシミュレータの成績に光ばく露の効果は認められなかった<sup>46)</sup>。いずれも実用的でありながら、効果の現れるばく露の条件設定が容易ではないと考えられる。

光ばく露は仮に眠気に望ましい効果をもたらしたとしても、夜間に浴びる光は主にメラトニンの分泌を抑制することを通して、乳がんなどの発がんの危険性を高めることが近年、相当に懸念されている<sup>47-50)</sup>。国際がん研究機関(International Agency for Research on Cancer)は2007年に、“概日リズム障害を伴う交代勤務”(shiftwork that involves circadian disruption)を人に対しておそらく発がん性があるばく露状況(Group 2A)として分類している。夜勤で働いているとき(職業運転手であれば夜間運転時)には多かれ少なかれ、光のばく露がある。眠気対策としてさらに光ばく露が追加されることが健康上、安全上、そして倫理上妥当かどうか、慎重な検討が求められている。

一方、仮眠は人為性がほとんどないし、特別な装置も不要である。その上、長時間運転の前、あるいは途中で計画的に仮眠をとることは、安全性を維持

するのに役立つと指摘されている<sup>36,51)</sup>。最近の研究では30分程度の仮眠であっても有効であることが示されており、実用性が増している<sup>52-55)</sup>。ただし3-4で述べたとおり、仮眠の直後は運転をしないよう注意する必要がある。職業運転手であれば仮眠時間と睡眠慣性消失時間とを合わせて仮眠のための時間として算定し、走行計画に盛り込むのがよいと思われる。

#### 5. おわりに

眠気に関連する生理学および職業的な要因は多数あり、本稿ではそれらの主要なものを取り上げた。車を運転しているときには程度の差こそあれ、眠気を誼しも経験する。睡眠研究は近年目覚ましく進歩しており、その成果は交通安全の具体化に役立てる必要がある。その第一歩として、眠気について正しく理解されることが必要である。そして、その共通認識が運転者、同乗者、歩行者、関係当局の間で広く深まることが大切である。

#### 参考文献

- 1) Mitler M.M., et al. : Catastrophes, sleep, and public policy: consensus report. *Sleep*, Vol.11, No.1, pp.100-109, 1988
- 2) Lyznicki J.M., et al. : Sleepiness, driving, and motor vehicle crashes. Council on Scientific Affairs, American Medical Association. *JAMA*, Vol. 279, No.23, pp.1908-1913, 1998
- 3) Åkerstedt T. : Consensus statement: fatigue and accidents in transport operations. *J Sleep Res*, Vol.9, No.4, P.395, 2000
- 4) Robb G., et al. : A systematic review of epidemiological studies investigating risk factors for work-related road traffic crashes and injuries. *Inj Prev*, Vol.14, No.1, pp.51-58, 2008
- 5) Drake C., et al. : The 10-year risk of verified motor vehicle crashes in relation to physiologic sleepiness. *Sleep* (in press)
- 6) Horne J., Reyner L. : Sleep-related vehicle accidents : some guides for road safety policies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.4, No.1, pp.63-74, 2001
- 7) Philip P., Åkerstedt T. : Transport and industrial safety, how are they affected by sleepiness and

- sleep restriction? *Sleep Med Rev*, Vol.10, No.5, pp.347-356, 2006
- 8) Ohayon M.M.: From wakefulness to excessive sleepiness : what we know and still need to know. *Sleep Med Rev*, Vol.12, No.2, pp.129-141, 2008
  - 9) Achermann P.: The two-process model of sleep regulation revisited. *Aviat Space Environ Med*, Vol.75, No.3 Suppl, pp.A37-43, 2004
  - 10) Richardson G.S. : The human circadian system in normal and disordered sleep. *J Clin Psychiatry*, Vol.66, No.Suppl 9, pp.3-9, 2005
  - 11) Monk T.H. : The post-lunch dip in performance. *Clin Sports Med*, Vol.24, No.2, pp.e15-23, xi-xii, 2005
  - 12) Bes F., et al. : Modeling napping, post-lunch dip, and other variations in human sleep propensity. *Sleep*, Vol.32, No.3, pp.392-398, 2009
  - 13) Wells A.S., et al. : Effects of meals on objective and subjective measures of daytime sleepiness. *J Appl Physiol*, Vol.84, No.2, pp.507-515, 1998
  - 14) 国土交通省『自動車運送事業に係る交通事故要因分析報告書(平成20年度)』2008年
  - 15) 国土交通省『自動車運送事業に係る交通事故要因分析報告書(平成15~20年度)』2003~2008年
  - 16) Dawson D., Reid K. : Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature*, Vol.388, No.6639, P.235, 1997
  - 17) Dawson D., McCulloch K. : Managing fatigue: it's about sleep. *Sleep Med Rev*, Vol.9, No.5, pp.365-380, 2005
  - 18) 厚生労働省『過労運転等による交通労働災害に係る調査研究報告書』平成18年度厚生労働省委託研究、2007年
  - 19) Pack A.I., et al. : Impaired performance in commercial drivers: role of sleep apnea and short sleep duration. *Am J Respir Crit Care Med*, Vol.174, No.4, pp.446-454, 2006
  - 20) Hofer-Tinguely G., et al. : Sleep inertia : performance changes after sleep, rest and active waking. *Brain Res Cogn Brain Res*, Vol.22, No.3, pp.323-331, 2005
  - 21) Wertz A.T., et al. : Effects of sleep inertia on cognition. *JAMA*, Vol.295, No.2, pp.163-164, 2006
  - 22) Scheer F.A., et al. : An endogenous circadian rhythm in sleep inertia results in greatest cognitive impairment upon awakening during the biological night. *J Biol Rhythms*, Vol.23, No.4, pp.353-361, 2008
  - 23) Lowden A., et al. : Wakefulness in young and elderly subjects driving at night in a car simulator. *Accid Anal Prev*, Vol.41, No.5, pp.1001-1007, 2009
  - 24) Duffy J.F., et al. : Healthy older adults better tolerate sleep deprivation than young adults. *J Am Geriatr Soc*, Vol.57, No.7, pp.1245-1251, 2009
  - 25) Åkerstedt T., Kecklund G. : Age, gender and early morning highway accidents. *J Sleep Res*, Vol.10, No.2, pp.105-110, 2001
  - 26) Groeger J.A. : Youthfulness, inexperience, and sleep loss: the problems young drivers face and those they pose for us. *Inj Prev*, Vol.12, No. Suppl 1, pp.i19-24, 2006
  - 27) Langford J., et al. : Do older drivers pose a risk to other road users? *Traffic Inj Prev*, Vol.9, No.3, pp.181-189, 2008
  - 28) Tefft B.C. : Risks older drivers pose to themselves and to other road users. *J Safety Res*, Vol.39, No.6, pp.577-582, 2008
  - 29) Smith S.S., et al. : Hazard perception in novice and experienced drivers : the effects of sleepiness. *Accid Anal Prev*, Vol.41, No.4, pp.729-733, 2009
  - 30) Van Dongen H.P., Belenky G. : Individual differences in vulnerability to sleep loss in the work environment. *Ind Health*, Vol.47, No.5, pp.518-526, 2009
  - 31) von Schantz M. : Phenotypic effects of genetic variability in human clock genes on circadian and sleep parameters. *J Genet*, Vol.87, No.5, pp.513-519, 2008
  - 32) Dijk D.J., Archer S.N. : PERIOD3, circadian phenotypes, and sleep homeostasis. *Sleep Med Rev*, Vol.14, No.3, pp.151-160, 2010
  - 33) Viola A.U., et al. : PER3 polymorphism predicts sleep structure and waking performance. *Curr Biol*, Vol.17, No.7, pp.613-618, 2007
  - 34) Dembe A.E., et al. : The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses : new evidence from the United States.

- Occup Environ Med, Vol.62, No.9, pp.588-597, 2005
- 35) Folkard S., Lombardi D.A. : Modeling the impact of the components of long work hours on injuries and "accidents". *Am J Ind Med*, Vol.49, No.11, pp.953-963, 2006
- 36) 高橋正也「交替制勤務と睡眠」『睡眠障害の基礎知識』日本労務研究会、pp.66-92、2008年
- 37) Barger L.K., et al. : Extended work shifts and the risk of motor vehicle crashes among interns. *N Engl J Med*, Vol.352, No.2, pp.125-134, 2005
- 38) Scott L.D., et al. : The relationship between nurse work schedules, sleep duration, and drowsy driving. *Sleep*, Vol.30, No.12, pp.1801-1807, 2007
- 39) Dorrian J., et al. : Sleep and errors in a group of Australian hospital nurses at work and during the commute. *Appl Ergon*, Vol.39, No.5, pp.605-613, 2008
- 40) Czeisler C.A., et al. : Exposure to bright light and darkness to treat physiologic maladaptation to night work. *N Engl J Med*, Vol.322, No.18, pp.1253-1259, 1990
- 41) Brainard G.C., et al. : Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci*, Vol.21, No.16, pp.6405-6412, 2001
- 42) Cajochen C. : Alerting effects of light. *Sleep Med Rev*, Vol.11, No.6, pp.453-464, 2007
- 43) Viola A.U., et al. : Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand J Work Environ Health*, Vol.34, No.4, pp.297-306, 2008
- 44) Åkerstedt T., et al. : Bright light as a sleepiness prophylactic: a laboratory study of subjective ratings and EEG. *Percept Mot Skills*, Vol.97, No.3 Pt 1, pp.811-819, 2003
- 45) Landström U., et al. : Effect on truck drivers' alertness of a 30-min. exposure to bright light: a field study. *Percept Mot Skills*, Vol.98, No.3Pt 1, pp.770-776, 2004
- 46) Phipps-Nelson J., et al. : Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. *Chronobiol Int*, Vol.26, No.5, pp.891-912, 2009
- 47) Straif K., et al. : Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol*, Vol.8, No.12, pp.1065-1066, 2007
- 48) Kantermann T., Roenneberg T. : Is light-at-night a health risk factor or a health risk predictor? *Chronobiol Int*, Vol.26, No.6, pp.1069-1074, 2009
- 49) Stevens R.G. : Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *Int J Epidemiol*, Vol.38, No.4, pp.963-970, 2009
- 50) Erren T.C., Reiter R.J. : Defining chronodisruption. *J Pineal Res*, Vol.46, No.3, pp.245-247, 2009
- 51) Takahashi M. : The role of prescribed napping in sleep medicine. *Sleep Med Rev*, Vol.7, No.3, pp.227-235, 2003
- 52) Philip P., et al. : The effects of coffee and napping on nighttime highway driving: a randomized trial. *Ann Intern Med*, Vol.144, No.11, pp.785-791, 2006
- 53) Sagaspe P., et al. : Aging and nocturnal driving: better with coffee or a nap? A randomized study. *Sleep*, Vol.30, No.12, pp.1808-1813, 2007
- 54) Leger D., et al. : Effects of a combination of napping and bright light pulses on shift workers sleepiness at the wheel: a pilot study. *J Sleep Res*, Vol.18, No.4, pp.472-479, 2009
- 55) Signal T.L., et al. : Scheduled napping as a countermeasure to sleepiness in air traffic controllers. *J Sleep Res*, Vol.18, No.1, pp.11-19, 2009