

**操縦士の疲労管理に関する検討会
「操縦士の疲労管理について」の技術的提言**

平成 31 年 4 月 25 日

(公財)大原記念労働科学研究所 慢性疲労研究センター

センター長 千葉大学博士(理学)

佐々木 司

共同研究 日本乗員組合連絡会議

目次

1. はじめに.....	3
2. 検討会報告書の評価.....	3
(1)わが国の操縦士の乗務割基準とICAO Doc 9966[2]との乖離を認め、「わが国の操縦士の疲労」に基づく乗務割を策定しようとしていること.....	3
(2)操縦士の安全リスク評価を法規準拠型から自主対応型に展開しようとしていること.....	3
(3)操縦士の生活を念頭において疲労を評価しようとしていること.....	3
3. 検討会報告書の不足点.....	4
(1)検討会報告書では、FRM における疲労データ収集(data-driven)の位置づけが反映不足していること.....	4
(2)日本独自の実態調査を結論に反映していないこと.....	5
(2)－1. 乗務時間.....	5
(2)－2. 飛行勤務時間.....	6
(2)－3. 休養時間.....	6
(2)－4. 時差.....	6
(2)－5. スタンバイ(待機).....	6
(2)－6. 不測の事態への対応.....	7
(3)実態調査が現行のわが国の操縦士の乗務割の負担を踏まえていないこと.....	7
(4)実態調査のデータ分析が不十分なこと.....	7
(4)－1. 乗務時間と疲労の関係(2人乗務).....	7
(4)－2. 乗務時間と疲労の関係(3人乗務).....	7
(4)－3. 乗務時間帯と疲労の関係(2人乗務).....	8
(4)－4. 乗務時間帯と疲労の関係(3人乗務).....	8
(4)－5. 乗務時間帯と疲労の関係(2人乗務と3人乗務の比較).....	8
(4)－6. 乗務回数と疲労の関係.....	8
(5)実態調査の調査モデルや解析手法について.....	9
(5)－1. 往路または復路の乗務前、乗務後のサンプリングしか行われていない問題.....	9
(5)－2. 本調査モデルを踏まえた解析法を用いていない.....	9
(5)－3. 代表値として乗務前後の差分値(Δ)を用いている.....	9

(5)－4. 睡眠の測定が行われていない	9
(5)－5. 操縦士の生活要因を分析していない.....	10
(5)－6. 長距離運航便(乗務時間)と短距離運航便(乗務回数)を同じ指標のみで測定している問題.....	10
4. 結論.....	10
5. 引用文献.....	11

1. はじめに

「操縦士の疲労管理に関する検討会（以下、検討会と記す）」は、平成 31 年 3 月 29 日に「操縦士の疲労管理について（以下、検討会報告書と記す）」をまとめた。

本稿は、検討会報告書に対して、今後継続されるだろう FRMS (Fatigue Risk Management system) [1]に基づく操縦士の疲労管理について、労働科学的視点から技術的提言を行うものである。

2. 検討会報告書の不足点

まず、検討会報告書は、以下の 3 点について評価できる。

(1) わが国の操縦士の乗務割基準と ICAO Doc 9966[2]との乖離を認め、「わが国の操縦士の疲労」に基づく乗務割を策定しようとしていること

検討会報告書には、「現行の我が国の基準は ICAO Doc で推奨される疲労管理基準項目を網羅できておらず、また細部では欧米と異なる部分が多い。(10 ページ)」と記されているように、検討会が、わが国の操縦士の乗務割基準が ICAO Doc 9966 にそぐわないことを認め、かつ「わが国独自の操縦士の疲労」に基づく乗務割を策定しようとしていることは評価できる。

とくにわが国の労働者の疲労研究の歴史を踏まえた時、その研究は、疲労一般の研究から、現代人特有の労働負担を考慮した研究へ、さらには日本人の疲労の研究に研究課題が変化している[3]ことを検討会報告書が踏襲しようとしている点は評価できるものである。

(2) 操縦士の安全リスク評価を法規準拠型から自主対応型に展開しようとしていること

労働者の安全研究は、1970 年のローベンス報告[4]以来、法規準拠型対策から安全リスクを担うステークホルダー間の自主対応型対策に移行している。したがって操縦士の安全リスクを、自主対応型の FRMS の手法に基づいて明らかにしようとする検討会報告書は、安全研究の趨勢を踏襲しているものとみなすことができ、評価できるものである。

(3) 操縦士の生活を念頭において疲労を評価しようとしていること

検討会報告書では、ICAO Doc 9966 の文言「疲労は勤務時間以外の過ごし方にも大き

く影響を受けるものである（5 ページ）； Measuring fatigue levels may involve monitoring individuals both on duty and off duty (page 5-11)、下線は筆者」を引用しているところ、操縦士の疲労の評価には、運航時のみならず、その操縦士が置かれている生活状況の考慮の必要性を挙げていることは評価できる。

昨今の疲労の科学では、労働者の疲労は、労働者の特性要因 (trait-like) [5]のみならず、労働者が置かれている状況要因 (state-like) [6]を踏まえて評価されねばいけないからである。

4. 検討会報告書の不足点

一方、検討会報告書には、実態調査の位置づけ、また実態調査の結果の導き方についての不足部分がある。

(1) 検討会報告書では、FRM における疲労データ収集 (data-driven) の位置づけが反映不足していること

検討会報告書では「一方で、特に「連続乗務時間の上限基準」については、国際標準等でも具体的な数値が示されておらず、欧米間でも考え方が異なることから、本邦航空会社における実際の運航便において連続乗務時間と操縦士の疲労との関係について実態調査を行い、その結果を検討の参考とする。(12 ページ；下線は筆者)」と記されている。

しかし ICAO Doc 9966 が一貫して主張しているのは、収集された疲労データを、「検討の参考」ではなく、「検討の基準」と位置付けていることである。

そのため、検討会報告書で「詳細な疲労管理基準の検討・制定が勧められている (7 ページ)」と記されているシンガポール[たとえば 7]や豪州[たとえば 8]では、FRM を科学原則に基づけるために、疲労を専門とする科学者が積極的に関与している。それは米国[たとえば 9]、英国[たとえば 10]および北欧[たとえば 11]でも同様である。

検討会報告書には、「疲労は、睡眠不足、長時間の覚醒、生体リズム、ワークロードにより生じるものであり、①回復は「睡眠」が唯一の方法とされ、②疲労は蓄積し、また③解消するためには通常よりも多くの時間が必要であるものであり、(4 ページ；番号と下線は筆者)」、「疲労を生じさせないためには、適切な④時間に十分な睡眠を取得し続けることが必要であるが、(4 ページ；番号と下線は筆者)」とある。

しかし労働者の疲労の科学の到達点は以下である。

- ①労働者の疲労研究者である小木が述べているように[12]、疲労の回復は、睡眠が唯一の方法ではない。労働者の疲労の科学では、疲労は睡眠以外でも回復する現象であり、睡眠は、疲労の最終的な回復過程と位置付けられているのである。
- ②疲労は蓄積されると言われるが、現時点では、科学的には「どこに蓄積」されるか明らかになっていないところ、労働者の疲労を研究する科学者は「疲労は蓄積」とは言わず、「疲労は進展」と表現し、疲労を「疲労徴候」として捉えてきたのである[13]。
- ③技術的用語として、疲労は「解消」するのではなく、「回復」するのである。なお眠気やストレスについては「解消」が用いられている。その理由は、疲労は連続的な現象であり、眠気やストレスは離散的な現象であるからである。したがって、理論的には、日本の疲労研究者は、PVT(Psychomotor Vigilance Task)[14]を開発した Dingessらの論文[15]のタイトルである「Cumulative Sleepiness」という概念を否定する立場に立つ。これは、操縦士の疲労を検討する際に、欧米の操縦士の疲労研究と日本の操縦士の疲労研究は、完全には同じで無いことを意味し、したがって日本独自の操縦士の疲労を評価する必要を示唆する重要な点である。
- ④「時間」ではなく、「時刻 (time of day)」とすべきである。

(2) 日本独自の実態調査を結論に反映していないこと

(2) - 1. 乗務時間

連続乗務時間の上限基準の策定において、国際線の2人乗務の連続乗務時間は、実態調査では10時間台までの条件設定しか無いにもかかわらず、10時間と結論付けられている。同様に国際線の3人乗務についても、「2. に示す実態調査の結果(12時間、13時間、14時間台で疲労度との関係性は確認できない)を踏まえ、3人乗務では連続15時間を上限時間と設定。(22ページ)」と記されているが、実態調査では14時間台までの条件設定しかない。4人乗務については、「4人乗務による運航が行われていない(22ページ)」ことから実態調査が行われていないにもかかわらず「17時間と設定。(22ページ)」された。「また、3人編成及び4人編成の場合には、WOCLを含む運航であっても2. に示す実態調査の結果により、機上での睡眠により疲労の回復が見込まれることから、欧州と同様に乗務時間帯について考慮しない。(22ページ)」と記されているが、4人編成の実態調査は本邦では行われておらず、睡眠データの開示もない。

2人乗務に関しては日本独自の基準としているので、参考ではなく ICAO の data-

driven の原則に即して実態調査を反映したものにするべきである。また、3 人乗務、4 人乗務については欧州の基準を参考としているが、今後も研究調査を進め、日本としても科学的裏付けのあるものにするべきである。

(2)－2. 飛行勤務時間

「①連続飛行勤務時間（2 人編成）（2 3 ページ）」の「<新基準とすべき目安>（2 3 ページ）」の考え方は、Goode ら[16]の論文から「欧米の上限時間を設定する上で参照されている共通の研究論文（13 時間をこえると事故率が 5.5 倍）を参考に、欧州と同様に上限時間を 13 時間に設定。（2 3 ページ）」と記されているが、これは本実態調査から得られたデータではなく、またわが国のデータでもない。「WOCL に乗務時間が重なる時間の長さに応じて 1 時間ずつ減じ下限値は 11 時間と設定し最小下限値を 9 時間とする。（2 3 ページ）」、「また、飛行回数の影響を踏まえ、欧米と同様に飛行回数に応じて 30 分減ずる（23 ページ）」と記されているが、これらの数値も実態調査に基づいておらず、欧州の基準を参考にしており、今後も研究調査を進め、日本としても科学的裏付けのあるものにするべきである。

(2)－3. 休養時間

「IC0 Doc（必要な睡眠時間（7～9h））や欧米の基準を参考に基本となる休養時間として 8 時間の睡眠を確保できる 10 時間を設定。（2 5 ページ）」と記されているが、これらの数値も実態調査に基づいておらず、欧州の基準を参考にしており、今後も研究調査を進め、日本としても科学的裏付けのあるものにするべきである。

ちなみに、睡眠科学の知見では、7～8 時間の睡眠時間を得るには、16 時間の勤務間隔時間が必要とされている[17]。またわが国のデータでも勤務間隔時間が 14 時間以上でも約 6 時間の睡眠時間しかとれないことが明らかになっている[18]。

これらのことから、休養時間を 10 時間にするという科学的根拠を、明示するべきである。

(2)－4. 時差

「時差」については、実態調査を実施したのであれば調査結果を公表するべきである。

(2)－5. スタンバイ(待機)

「スタンバイ(待機)」については、実態調査は行われておらず、EASA の基準を参考としているが、今後実態調査をするべきである。

(2)－6. 不測の事態への対応

上記に同様であり、「不測の事態への対応」についても、実態調査は行われておらず、EASA の基準を参考にしているが、今後実態調査をするべきである。しかしながら、不測の事態の実態調査はレアケースであり、実態調査が難しい。不足の事態でも疲労レベルが下回らないよう、余裕度を持った基準とするべきである。

(3)実態調査が現行のわが国の操縦士の乗務割の負担を踏まえていないこと

IC0 Doc 9966 には「Effective fatigue management not only requires consideration of scientific principles, but also needs to be based on operational knowledge and experience, which is acquired through conducting specific operations over time and managing fatigue - related risks in those operations. (page.3-1)、下線は筆者」とあり、科学的知見とともに、操縦士の経験を聴取することが重要と位置付けている。

筆者が 2017 年に A 社および J 社で操縦士を対象に行ったアンケート調査[19]では、長距離乗務、シングル編成、深夜乗務、WOCL、時差勤務、早朝勤務、宿泊勤務の 7 つの負荷得点を算出し、その中で B787 および B777 機材で負荷得点が高かった路線は、A 社ではバンクーバー便 (11 点)、シアトル便(11 点)、デリー便 (11 点)、シドニー便 (10 点)、サンフランシスコ便 (10 点)、J 社ではボストン便(12 点)、ホノルル便(11 点)、ロサンゼルス便(B777;11 点, B787 ; 10 点)、ヒースロー便 (10 点)、シカゴ便(10 点)であった。

しかしながら、実態調査では、WOCL を含む運航として A 社では負担高い便と認識されていない ANA12 便である成田—シカゴ (11 時間 40 分) のみのデータが用いられており、アンケートで得られた操縦士がもっとも負担と感じている路線が実態調査に条件として採用されていない。

(4)実態調査のデータ分析が不十分なこと

(4)－1. 乗務時間と疲労の関係(2人乗務)

実態調査の 2 人乗務での PVT 値の結果は、「2 人乗務では乗務時間の増加に伴い疲労度は増加傾向にあった。(19 ページ)」と結論づけているが、グラフ 1 を見る限り、9 時間台のシングル編成の分散が大きく、そこに変節点があることが推認されるところ、再解析がなされるべきである。

(4)－2. 乗務時間と疲労の関係(3人乗務)

同様に 3 人乗務においても「3 人乗務では乗務時間と疲労度との関係は確認できなか

った。(19ページ)」とあるが、グラフ4の14時間台の分散が大きく、ここに変節点があることが推認される場所、再解析がなされるべきである。

(4)－3. 乗務時間帯と疲労の関係(2人乗務)

「2人乗務では、乗務する時間帯にWOCLを含む長さに応じて疲労度は増加する傾向にあった。(20ページ)」と記されているが、グラフ7では、「WOCLを含まない運航」、「WOCLを一部含む運航」、「WOCLを全て含む運航」の3条件の比較しか行われていないところ、「長さに応じて」という結論は拡大解釈といわざるを得ない。分散が大きいことからして、グラフ7の「WOCLを一部含む運航」に変節点の存在が推認される場所、このデータの詳細な分析が行われるべきである。

(4)－4. 乗務時間帯と疲労の関係(3人乗務)

「3人乗務では乗務する時間帯と疲労度との関係性は確認できなかった。これは、運航中における機上での休息により、疲労が改善されていることが要因として考えられる。(20ページ)」と記されているが、検討会報告書には「機上での休息」に関するデータが開示されていないため、「機上での休息」に関するデータを開示して、考察すべきである。

(4)－5. 乗務時間帯と疲労の関係(2人乗務と3人乗務の比較)

「2人乗務に比べ3人乗務の場合には疲労度は改善された。これは、運航中の機上での休息により疲労が改善されることが要因として考えられる。(19ページ)」と記されているが、2人乗務と3人乗務の検定結果が記されていないことから、まず記すべきである。またその理由として、「これは、運航中の機上での休息により疲労が改善されることが要因として考えられる。(19ページ)」と記されているが、「機上での休息」に関するデータも開示されていないため、「機上での休息」に関するデータを開示して、考察すべきである。

(4)－6. 乗務回数と疲労の関係

「飛行回数が増加するについて疲労度はやや増加する傾向にあった。また、飛行回数が6回の場合には疲労度には大きなバラツキがみられた。(20ページ)」と記されているが、「飛行回数が6回の場合には疲労度には大きなバラツキがみられた(20ページ)」ことに対する考察が必要である。またグラフ11を見ると、飛行回数4回の分散も大きいことが見て取れるところ、これに関して詳細な解析がなされるべきである。またSamn-Perelli 尺度[20]に有意差が認められ、「1回と5回との間で有意性が確認された(n=15×6, p=0.0002391)(19ページ)」と記されているが、5回目の乗務前測定時刻が6時34分であり、他の条件より約1時間早いことは注目されるべきである。IC0 Doc 9966

でも「Can cause restricted sleep and increased fatigue risk with early duty start times. (page XVI)、下線は筆者」や「Early morning shifts also have consequences for sleep, as night time sleep is truncated. (page.2-25)、下線は筆者」と記されているところ、この点を考慮した再解析がなされるべきである。

(5) 実態調査の調査モデルや解析手法について

(5)－1. 往路または復路の乗務前、乗務後のサンプリングしか行われていない問題

検討会報告書では、往路また復路の乗務前、乗務後のサンプリングのみ行われている。とくに検討会報告書で記されている「疲労は勤務時間以外の過ごし方にも大きく影響を受けるものである(5ページ)」点が考慮されていない。別紙1では、睡眠について ICO Doc 9966 に基づいて「This includes information on recent sleep (minimum last 3 days) (page. 5-11.)、下線は筆者」とあり、それを踏襲して、実態調査においても乗務3日前から睡眠状況を聴取していることは評価できるが、それを分析に反映すべきである。また疲労は、作業の遂行にしたがって進展し、回復する現象であるから、運航時は乗務前、TOC(Top of Climb), TOD(Top of Descent)、乗務後の4時点の測定が望ましい。操縦士の疲労を TOD のみを検討した Sallinen ら[11]も、全てのフェーズでの測定が重要であると述べている。

(5)－2. 本調査モデルを踏まえた解析法を用いていない

本調査モデルを踏まえた最適な分析法が用いられていない。一元配置の分散分析を用いるのではなく、本調査モデルの場合、乗務前後×乗務時間、乗務前後×飛行回数、乗務前後×乗務時間帯を要因とする二元配置の分散分析を用いるべきである。

(5)－3. 代表値として乗務前後の差分値(Δ)を用いている

差分値(Δ)は、乗務前や乗務後データが持っている貴重な情報が落ちる問題がある。とくに Samn-Perelli 尺度は、7件法尺度であることから、差分値(Δ)を用いると、データが中心に集まりやすくなり検出力が落ちることが推認される。また差分値(Δ)では、乗務前の睡眠状況が一定あるという(つまり乗務前には疲労がない)、疲労の進展を評価する前提が満たされているか否かがわからない。そこでこれまでの研究[21-24]のように、実測値を用いた変化を捉えるべきである。

(5)－4. 睡眠の測定が行われていない

ICO Doc 9966 では科学的知見の第1番目として「ICAO requires that regulations be established, based upon scientific principles for the purpose of managing fatigue. These basic principles relate to: 1) the need for sleep; 2) sleep loss and recovery; 3) circadian effects on sleep and performance; and 4) the

influence of workload, and can be summarized as: (page.2-2.)、下線は筆者」として睡眠を挙げて、睡眠を重要視している。とくに宿泊先の睡眠は、脳を Default Mode Network (DMN;脳をアイドリング状態にする) [25]下に置き、睡眠の質が大きく低下することが知られていることから[26]、疲労の評価には、睡眠の測定が重要である。しかしながら、実態調査では、睡眠の測定がなされていないにもかかわらず、「これは、運航中の機上での休息により疲労が改善されることが要因として考えられる。(19ページ)」と記述されているので、機上での休息がどの程度疲労の回復に寄与しているのかが明確ではない。

(5)－5. 操縦士の生活要因を分析していない問題

検討会報告書では、ICAO Doc 9966 の文言「疲労は勤務時間以外の過ごし方にも大きく影響を受けるものである (5 ページ) ; Measuring fatigue levels may involve monitoring individuals both on duty and off duty (page 5-11)、下線は筆者」を引用しているにもかかわらず、通勤時間の長さ、家族構成など生活状況の考慮が実態調査に反映されていない。今後の調査分析が期待される。

(5)－6. 長距離運航便(乗務時間)と短距離運航便(乗務回数)を同じ指標のみで測定している

ICAO Doc 9966 では「4. Workload can contribute to an individual' s level of fatigue. Low workload may unmask physiological sleepiness while high workload may exceed the capacity of a fatigued individual. (page.2-2)、下線は筆者」と記し、労働負荷の重要性を挙げている。しかしながら、検討会報告書では、乗務時間の評価と乗務回数の評価を同じ指標のみで測定しており、それぞれの労働負担特性別の評価が行われていない。

4. 結論

以上のことから「操縦士の疲労管理について」の技術的提言を下記の通り記す。

1. 検討会報告書の試みは評価されるものである。
2. しかしながら、
 - (1) 検討会報告書では、FRM における疲労データ収集 (data-driven) を日本の基準に今後は反映させるべきである。
 - (2) ICAO の data-driven の原則に基づき、結論に実態調査の結果を反映させるべきである。
 - (3) 実態調査は現行のわが国の操縦士の乗務割の負担を踏まえるべきである。
 - (4) 実態調査のデータ分析が不十分である。

(5) 実態調査の調査モデルや解析手法に不足がある。

3. また ICO Doc 9966 では、特性要因 (trait-like) として、「The precise timing of the two peaks in sleepiness is different in people who are morning types (whose circadian rhythms and preferred sleep times are earlier than average) and evening types (whose circadian rhythms and preferred sleep times are later than average). (page2-22) , 下線は筆者」のように、朝型—夜型の重要性を記しているが、本調査報告書では、これについては何も触れられていない。

5. 引用文献

- [1]ICO. Fatigue Risk Management Guide for Airline Operators. Second edition,2015.
- [2]ICO. Doc 9966 Manual for the oversight of fatigue management approaches. Second edition 2016.
- [3]佐々木司. 巻頭言. 「産業疲労」, 「疲労」, 「現代人の疲労」, そして日本人の疲労. 日本産業衛生学会産業疲労研究会会報. 2017 ; 23 : 1-2.
- [4]小木和孝, 藤野明宏, 加地浩訳 : 労働における安全と保健—英国の産業安全保健制度改革—委員会報告 1970-72 年 委員長 ローベンス卿. 労働科学研究所出版部. 神奈川. 1997.
- [5]van Dongen HP, Baynard MD, Maislin G, Dinges DF. Systematic interindividual differences in neurobehavioral impairment from sleep loss: evidence of trait-like differential vulnerability. Sleep. 2004;27(3):423-33.
- [6]Dawson D. Fatigue research in 2011: from the bench to practice. Accid Anal Prev. 2012;45 Suppl:1-5.
- [7]Flight safety foundation. The Singapore experience: task force studies scientific data to assess flights. Flight safety digest. 2005; 26: 20-40.
- [8]Roach GD, Matthews R, Naweed A, Kontou TG, Sargent C. Flat-out napping: The quantity and quality of sleep obtained in a seat during the daytime increase as the angle of recline of the seat increases. Chronobiol Int. 2018;35(6):872-883.
- [9]Goode JH. Are pilots at risk of accidents due to fatigue? J Safety Res. 2003;34(3):309-13.
- [10]BALPA. Flight time limitations. 2012.
- [11]Sallinen M, Sihvola M, Puttonen S, Ketola K, Tuori A, Härmä M, Kecklund G, Åkerstedt T. Sleep, alertness and alertness management among commercial airline pilots on short-haul and long-haul flights. Accid Anal Prev. 2017;98:320-329.
- [12]小木和孝. “休息要求からみら疲労の種類”. 現代人と疲労 (増補版). 東京. 紀伊国屋書店. 1994.90-2.

- [13]佐々木司. 休息要求がカギ. そもそも「疲れる」とは? 疲労の正体をさぐる. 産業保健と看護. 2018 ; 10(1):40-45.
- [14] Dinges DF, Powell JW. Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behav Res Meth Instrum Comput.* 1985; 17: 652-655.
- [15]Dinges DF, Pack F, Williams K, Gillen KA, Powell JW, Ott GE, Aptowicz C, Pack AI. Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4-5 hours per night. *Sleep.* 1997;20(4):267-77.
- [16]Goode JH. Are pilots at risk of accidents due to fatigue? *J Safety Res.* 2003;34(3):309-13.
- [17]Kecklund G, Åkerstedt T. Effects of timing of shifts on sleepiness and sleep duration. *J Sleep Res.* 1995;4(S2):47-50.
- [18]Kubo T, Izawa S, Tsuchiya M, Ikeda H, Miki K, Takahashi M. Day-to-day variations in daily rest periods between working days and recovery from fatigue among information technology workers: One-month observational study using a fatigue app. *J Occup Health.* 2018;60(5):394-403.
- [19]佐々木司, 奥平隆. 長距離運航乗務員の疲労に関する質問紙による予備調査. *労働科学.* 2017 : 93 (4) : 116-33.
- [20] Samn SW, Perelli LP. Estimating Aircraft Fatigue : A technique with application to airline operators. Brooks AFB, Tex : USAF School of medicine, Technical report no. SAM-TR-82-21.1982.
- [21]Signal TL, Gander PH, van den Berg MJ, Graeber RC. In-flight sleep of flight crew during a 7-hour rest break: implications for research and flight safety. *Sleep.* 2013;36(1):109-15.
- [22]Gander P, van den Berg M, Mulrine H, Signal L, Mangie J. Circadian adaptation of airline pilots during extended duration operations between the USA and Asia. *Chronobiol Int.* 2013;30(8):963-72.
- [23]Gander PH, Mulrine HM, van den Berg MJ, Smith AA, Signal TL, Wu LJ, Belenky G. Pilot fatigue: relationships with departure and arrival times, flight duration, and direction. *Aviat Space Environ Med.* 2014;85(8):833-40.
- [24]Gander P, Mulrine HM, van den Berg MJ, Wu L, Smith A, Signal L, Mangie J. Does the circadian clock drift when pilots fly multiple transpacific flights with 1- to 2-day layovers? *Chronobiol Int.* 2016;33(8):982-94.
- [25]レイクル. 浮かび上がる脳の影の活動. *日経サイエンス.* 2010年6月号.
http://www.nikkei-science.com/page/magazine/1006/201006_034.html, 2019年4月25日参照)
- [26]Tamaki M, Bang JW, Watanabe T, Sasaki Y. Night Watch in One Brain Hemisphere

during Sleep Associated with the First-Night Effect in Humans. *Curr Biol.* 2016 ;26(9):1190-4.