

シドニー便、バンクーバー便における
運航乗務員の疲労に関する調査報告書

2019 年 2 月 12 日

(公財)大原記念労働科学研究所

目次

1. はじめに.....	3
2. 方法.....	3
2-1. 調査期間.....	3
2-2. 手続き.....	3
2-3. 分析.....	3
3. 結果.....	4
3-1. シドニー便.....	4
3-1-1. 調査対象者.....	4
3-1-2. 全運航乗務員.....	4
(1) 反応時間.....	4
(2) 疲労感.....	5
3-1-3. 職位.....	6
(1) 反応時間.....	6
(2) 疲労感.....	6
3-1-4. 職務.....	7
(1) 反応時間.....	7
(2) 疲労感.....	7
3-2. バンクーバー便.....	8
3-2-1. 調査対象者.....	8
3-2-2. 全運航乗務員.....	8
(1) 反応時間.....	8
(2) 疲労感.....	9
3-2-3. 職位.....	10
(1) 反応時間.....	10
(2) 疲労感.....	10
3-2-4. 職務.....	11
(1) 反応時間.....	11
(2) 疲労感.....	12
(3) 睡眠および覚醒.....	12
3-3. シドニー便とバンクーバー便の比較.....	13
3-3-1. 反応時間.....	13
3-3-2. 疲労感.....	13

4. 考察.....	14
4-1. 乗務前と乗務後の疲労.....	14
4-1-1. シングル編成での往路の疲労の低減策を打ち出すべきである.....	14
4-1-2. 往路乗務前の自宅での疲労低減策には労働条件上の補償が必要である.....	15
4-2. 往路と復路の疲労.....	15
4-2-1. 安全には疲労感より反応時間が重視される.....	15
4-2-2. 早朝運航の疲労は、夜間運航にも匹敵する.....	16
4-3. 機長と副操縦士の疲労.....	16
4-3-1. サンプル数を増やして再検討すべき課題である.....	16
4-3-2. マルチプル編成では機長と副操縦士の疲労測定が重要である.....	17
4-4. Landing Crew と Relief Crew の疲労.....	17
4-4-1. サンプル数を増やして再検討すべき課題である.....	17
4-4-2. マルチプル編成では Landing Crew と Relief Crew の疲労測定が重要である.....	18
4-5. シドニー便とバンクーバー便の疲労.....	18
4-5-1. シドニー便は連続夜間運航の復路、バンクーバー便は夜間運航の往路の疲労が高い.....	18
4-5-2. シドニー便もバンクーバー便の疲労も 16 時間を超える超長距離運航時の疲労と同等以上である.....	19
5. 今後の課題.....	19
6. 結論.....	20
7. 引用文献.....	21

1. はじめに

弊所は2017年に日本乗員組合連絡会議（以下日乗連と記す）と共同で、国内大手の航空会社であるA社とJ社を対象として、「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」をまとめた[1]。その中では長距離乗務、シングル編成、深夜乗務、WOCL (Windows of Circadian Low) [2], 時差勤務、早朝勤務、宿泊勤務の7つの負荷得点を算出しており、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。

そこで、本調査では、これら路線での客観的な疲労測定を試み、現在のところ、比較的数据を集積することができたA社のシドニー便とバンクーバー便の調査結果を報告する。

2. 方法

2-1. 調査期間

本報告書で扱うデータは、2018年8月25日～2019年1月20日の約5ヶ月間に得られたデータである。

2-2. 手続き

調査は、(公財)大原記念労働科学研究所に設置されている「研究のための倫理委員会」に諮って行った。調査対象者は、日乗連を通して、運航乗務員に調査協力を依頼した。調査内容は、PVT-192® (Ambulatory Monitoring Inc., U.S.A.) [3]を用いて、シドニーおよびバンクーバー便の往路および復路、乗務前および乗務後の4時点で、5分間の反応時間の測定とSamn & Perelliの疲労感尺度[4][5]を用いて疲労感を得た。乗務前と乗務後の測定は、乗務直前や乗務直後の緊張によって疲労がマスキングされることが知られているから[6]、それを避けるために、乗務開始1時間前、乗務終了1時間後に行った。また一名の運航乗務員(機長)については、Actiwatch®AW-64 (Mini Mitter Company, U.S.A.)を用いて1分間隔の精度で、バンクーバー便の睡眠および覚醒状態も測定した。その際、就寝時刻、起床時刻、PVTの測定時刻には、イベントスイッチをおすように教示した。データはgraphicalに処理した後、1分間あたりの平均活動量を算出した。

2-3. 分析

シドニー便とバンクーバー便について行程(往路と復路)、乗務(乗務前と乗務後)を要因とする繰り返しのある二元配置の分散分析を行った。また職位(機長と副操縦士)と行程(往路と復路)を要因、職務(Landing CrewとRelief Crew)と行程(往路と復

路)を要因とする対応の無い二元配置の分散分析を行った。なお本論文では、職位の Landing Crew とは、主に操縦を担当するパイロット(PF ; Pilot Flying)、Relief Crew とは、主に操縦以外を担当するパイロット(PM ; Pilot Monitoring)を意味している。また行程のデータは、運航後のデータを用いた。さらには、A社で負荷得点の最も高かったバンクーバー便と2番目に高かったシドニー便について、行先(バンクーバーとシドニー)と行程(往路と復路)を要因とする対応のない二元配置の分散分析を行った。

なお、繰り返しのある二元配置の分散分析の際には、球面性の仮定を設定し、それが棄却された場合には、自由度を Huynh-Feldt の法によって補正したが、便宜上、文中には補正前の自由度を記載した。統計処理は、いずれも IBM SPSS 25.0 for Windows 日本語版を用いた。有意水準は5%(両側)としたが、サンプル数が少ないことから、有意傾向(1%)も記した。データは平均値±標準偏差で記した。

3. 結果

3-1. シドニー便

3-1-1. 調査対象者

現時点でシドニー便の対象者は12名であった。平均年齢±標準偏差は 43.0 ± 10.5 歳であった。そのうち、職位では機長が7名、副操縦士が5名であった。機長の年齢は、 49.9 ± 8.0 歳、副操縦士の年齢は 33.4 ± 3.0 歳であった。機長と副操縦士の年齢差は10歳以上あった。また運航に際して、操縦を担当する Landing Crew と担当しない Relief Crew は、往路の Landing Crew が6名、Relief Crew が6名で同数、復路の Landing Crew が7名、Relief Crew が5名であった。したがって往路では、機長1名が Relief Crew を担当していた。シドニー便の往路の乗務開始前の平均測定時間は $20:51 \pm 0:32$ 、乗務終了後の平均測定時間は、 $8:51 \pm 0:37$ であった。また復路の乗務開始前の平均測定時間は、 $17:12 \pm 0:22$ 、乗務終了後の平均測定時間は、 $5:45 \pm 0:24$ であった。このことからわかるように、シドニー便は、往路および復路ともに日本時間(JST)の夜間運航であった。

3-1-2. 全運航乗務員

(1) 反応時間

図1にシドニー便における全運航乗務員の行程(往路と復路)および乗務(乗務前と乗務後)の反応時間を記した。往路乗務前の反応時間は 268.7 ± 69.1 ミリセカンド、往路乗務後は 317.7 ± 85.7 ミリセカンド、復路乗務前の反応時間は 236.5 ± 23.9 ミリセカンド、復路乗務後は 303.8 ± 72.6 ミリセカンドであった。復路より往路の反応時間が遅い傾向があった。また乗務前より乗務後の反応時間が遅い傾向があった。繰り返しのある二元配置の分散分析の結果、乗務前と乗務後の主効果に有意差が生じ($F[1, 11]=14.442, p=0.003$)、往路と復路の主効果に有意傾向が示された

($F[1, 11]=4.723, p=0.052$)。

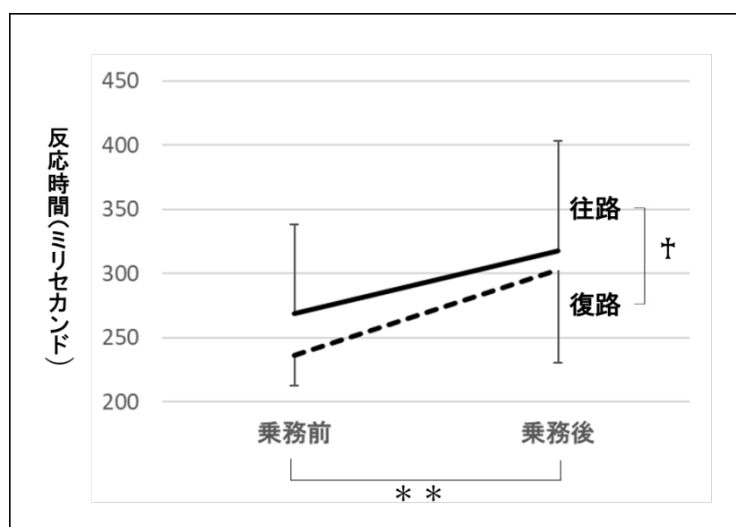


図1. シドニー便における行程および乗務別の反応時間

(2) 疲労感

図2にシドニー便における全運航乗務員の行程（往路と復路）および乗務（乗務前と乗務後）別の疲労得点を記した。往路乗務前の疲労得点は 2.7 ± 1.1 ポイント、往路乗務後の 5.5 ± 0.7 ポイント、復路乗務前の疲労得点は 2.8 ± 0.8 ポイント、復路乗務後では 6.0 ± 0.9 ポイントであった。往路より復路の疲労得点が高い傾向を示した。また往路および復路も乗務前よりも乗務後の疲労得点が高い傾向を示した。繰り返しのある二元配置の分散分析の結果、乗務の主効果のみに有意差が生じた ($F[1, 11]=216.000, p<0.0001$)。

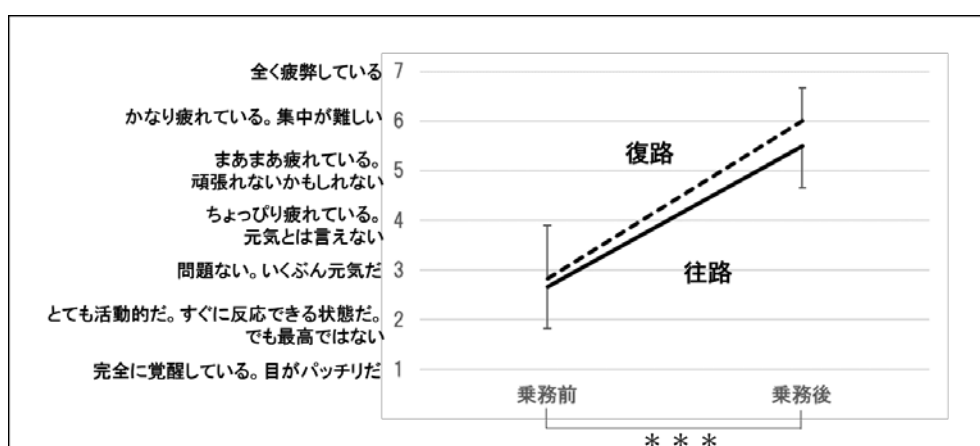


図2. シドニー便における行程および乗務別の疲労感

3-1-3. 職位

(1) 反応時間

図3にシドニー便における職位（機長と副操縦士）および行程（往路と復路）別の反応時間を記した。機長の反応時間は、往路が 357.4 ± 99.8 ミリセカンド、復路が 292.3 ± 75.8 ミリセカンドであり、往路の反応時間が復路より遅い傾向を示した。一方、副操縦士の反応時間は、往路が 277.9 ± 49.1 ミリセカンド、復路が 313.4 ± 74.8 ミリセカンドであり、復路の反応時間が往路より遅い傾向を示した。しかしながら、対応の無い二元配置の分散分析の結果、職位および運航後の反応時間には統計的な有意差は示されなかった。

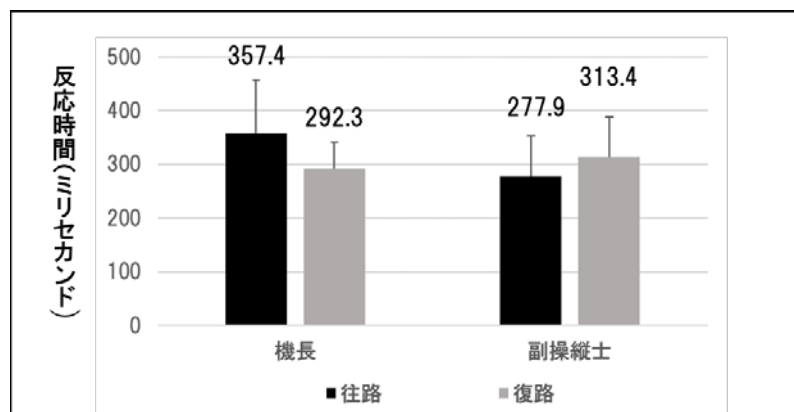


図3. シドニー便における職位および行程別の反応時間

(2) 疲労感

図4にシドニー便における職位（機長と副操縦士）および行程（往路と復路）別の疲労得点の値を記した。機長の疲労得点は往路が 5.5 ± 0.8 ポイント、復路が 6.0 ± 0.8 ポイントであり、復路の疲労得点が往路より高い傾向を示した。また副操縦士の疲労得点も、往路が 5.5 ± 0.5 ポイント、復路が 6.0 ± 0.9 ポイントであり、復路の疲労得点が往路より高い傾向を示した。しかしながら、対応の無い二元配置の分散分析の結果、職位および運航後の疲労感には統計的な有意差は示されなかった。

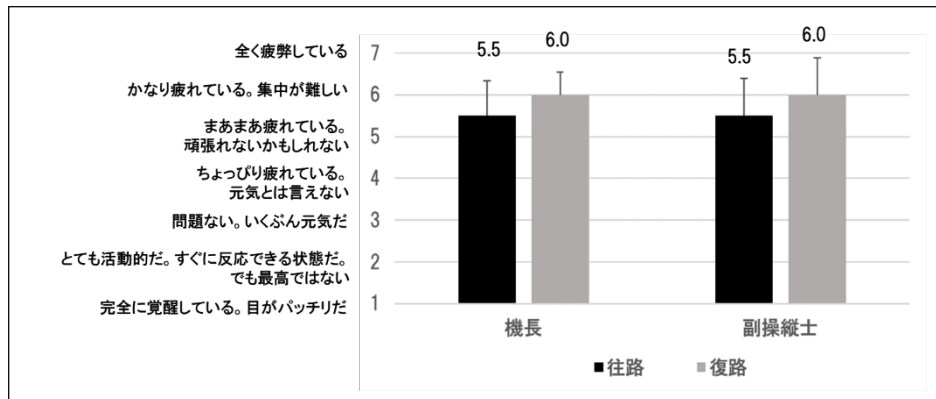


図4. シドニー便における職位および行程別の疲労感

3-1-4. 職務

(1) 反応時間

図5にシドニー便における職務（Landing Crew と Relief Crew）および行程（往路と復路）別の反応時間を記した。職務は、図3に記した職位とほぼ同じ構成であったが、シングル編成であるシドニー便では、機長が Relief Crew となる場合があることから分析に加えた。その結果、Landing Crew の反応時間は、往路が 342.2 ± 113.4 ミリセカンド、復路が 293.6 ± 75.0 ミリセカンドであり、往路の反応時間が復路より遅い傾向を示した。一方、Relief Crew の反応時間は、往路が 293.1 ± 43.0 ミリセカンド、復路が 312.1 ± 76.0 ミリセカンドであり、復路の反応時間が往路より遅い傾向を示した。この傾向は、職位の反応時間と同じであった。しかしながら、対応の無い二元配置の分散分析の結果、職位および運航後の反応時間には統計的な有意差は示されなかった。

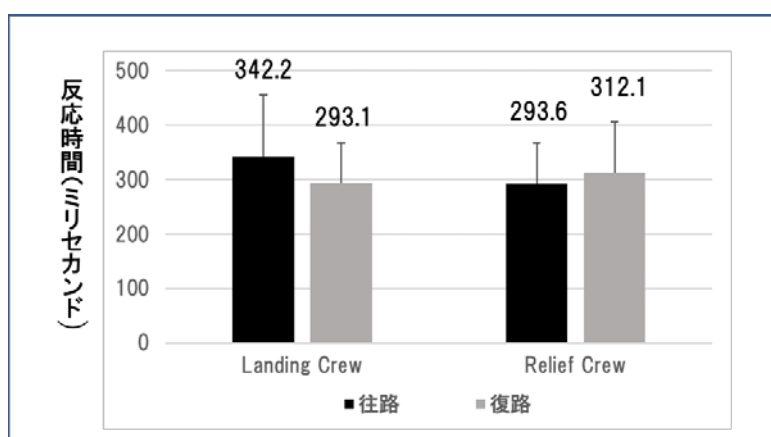


図5. シドニー便における職務と行程別の反応時間

(2) 疲労感

図6にシドニー便における職務（Landing Crew と Relief Crew）および行程（往路と

復路) 別の疲労得点の値を記した。Landing Crew の疲労得点は、往路が 5.5 ± 0.8 ポイント、復路が 6.2 ± 0.8 ポイントであり、復路の疲労得点が往路より高い傾向を示した。また Relief Crew の疲労得点も、往路が 5.5 ± 0.8 ポイント、復路が 5.8 ± 1.0 ポイントであり、復路の疲労得点が往路より高い傾向を示した。しかしながら、対応の無い二元配置の分散分析の結果、職位および運航後の疲労得点には統計的な有意差は示されなかった。

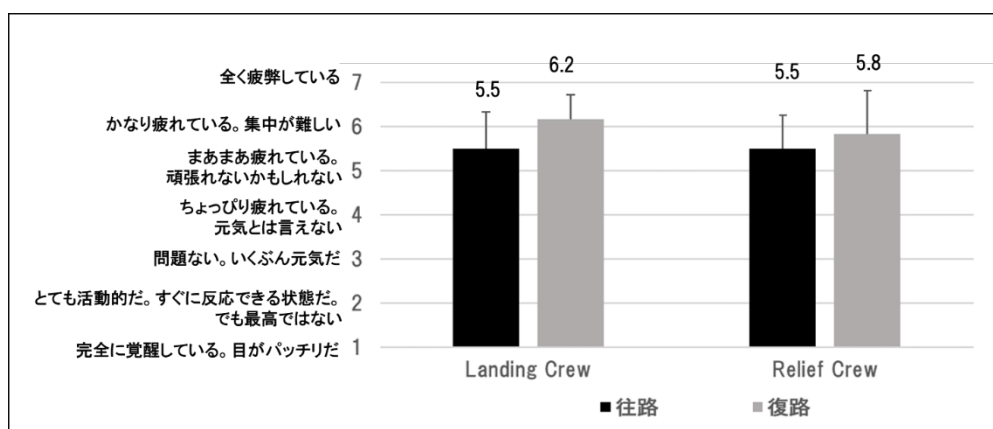


図6. シドニー便における職務および行程別の疲労感

3-2. バンクーバー便

3-2-1. 調査対象者

現時点でバンクーバー便の対象者は 12 名であった。平均年齢±標準偏差は、 46.3 ± 8.7 歳であった。そのうち、職位では機長が 8 名、副操縦士が 4 名であった。機長の年齢は、 51.8 ± 3.7 歳、副操縦士の年齢は 35.3 ± 0.5 歳であった。シドニー便と同様、機長の年齢は副操縦士の年齢より 10 歳以上高かった。また運航に際して、操縦を担当する Landing Crew と担当しない Relief Crew は、往路の Landing Crew が 7 名、Relief Crew が 5 名、復路の Landing Crew が 6 名、Relief Crew が 6 名で同数であった。したがって往路の機長 1 名が、また復路の機長 2 名が Relief Crew であった。バンクーバー便の往路の乗務開始前の平均測定時間は、 $19:53 \pm 0:12$ 、乗務終了後の平均測定時間は、 $7:22 \pm 0:22$ であった。また復路の乗務開始前の平均測定時間は、 $6:23 \pm 0:39$ 、乗務終了後の平均測定時間は、 $19:10 \pm 0:23$ であった。このことからバンクーバー便の往路は、日本時間 (JST) の深夜運航、復路は日本時間 (JST) の早朝運航であった。

3-2-2. 全運航乗務員

(1) 反応時間

図7にバンクーバー便における全運航乗務員の行程 (往路と復路) および乗務 (乗務前・乗務後) 別の反応時間を記した。往路乗務前の反応時間は 246.7 ± 35.7 ミリセカンド、往路乗務後では 283.8 ± 30.9 ミリセカンド、復路乗務前の反応時間は 242.3 ± 23.5

ミリセカンド、復路乗務後では 287.2 ± 56.6 ミリセカンドであった。往路も復路も乗務前より乗務後の反応時間が遅い傾向を示した。また乗務前の反応時間は、復路と往路で似ており、乗務後の反応時間は往路より復路で遅い傾向を示した。繰り返しのある二元配置の分散分析の結果、乗務の主効果のみに有意差が生じた ($F[1, 11]=21.861, p=0.001$)。

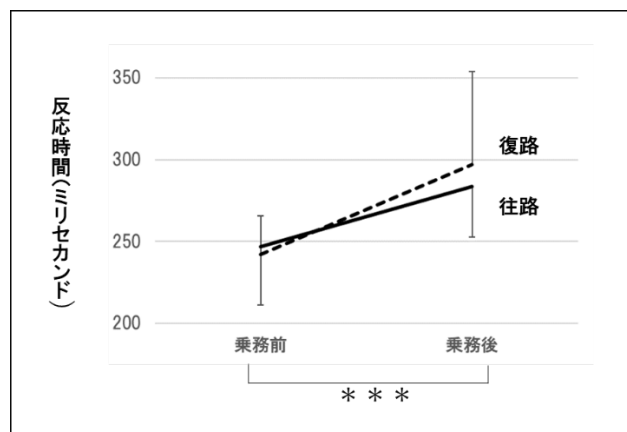


図7. バンクーバー便における行程および乗務別の反応時間

(2) 疲労感

図8にバンクーバー便における全運航乗務員の行程（往路と復路）および乗務（乗務前と乗務後）別の疲労得点を記した。往路乗務前の疲労得点は 2.7 ± 0.8 ポイント、往路乗務後の疲労得点は 5.2 ± 0.8 ポイント、復路乗務前の疲労得点は 2.9 ± 0.7 ポイント、復路乗務後の疲労得点は 4.3 ± 1.1 ポイントであった。往路および復路においても、乗務前より乗務後の疲労得点は高い傾向を示した。また乗務前の疲労得点は、往路より復路で高い傾向を示した。一方、乗務後の疲労得点は、復路より往路で高い傾向を示した。繰り返しのある二元配置の分散分析の結果、乗務前と乗務後の主効果のみに有意差が生じた ($F[1, 11]=156.758, p<0.0001$)。

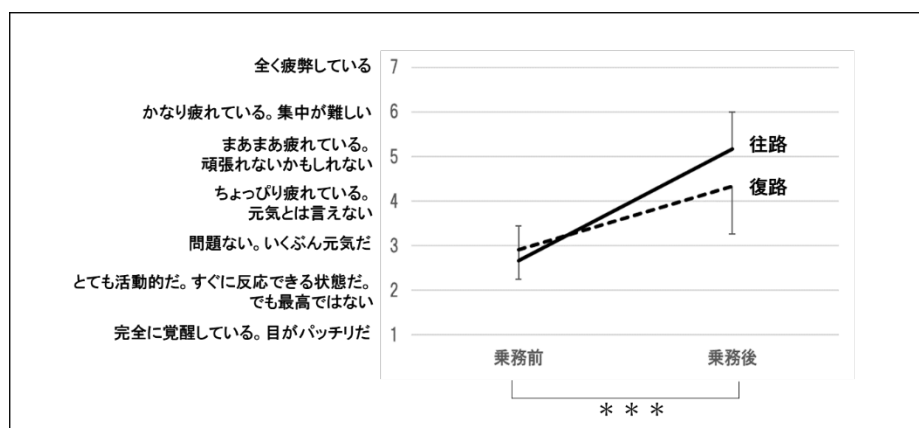


図8. バンクーバー便における行程および乗務別の疲労感

3-2-3. 職位

(1) 反応時間

図9にバンクーバー便における職位（機長と副操縦士）および行程（往路と復路）別の反応時間を記した。機長の反応時間は、往路が 271.8 ± 22.8 ミリセカンド、復路が 292.4 ± 57.8 ミリセカンドであり、復路の反応時間が往路より遅い傾向を示した。一方、副操縦士の反応時間は、往路が 307.7 ± 34.0 ミリセカンド、復路が 306.6 ± 61.3 ミリセカンドであり、往路の反応時間と復路の反応時間は似ていた。対応の無い二元配置の分散分析の結果、職位および運航後の反応時間には統計的な有意差は示されなかった。

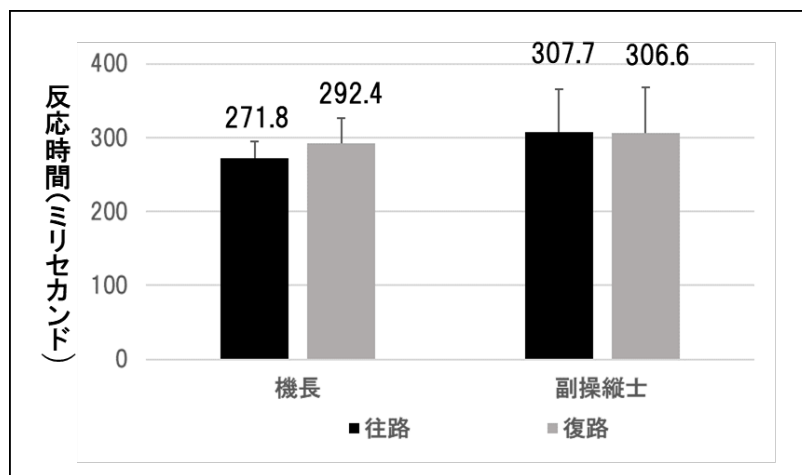


図9. バンクーバー便における職位および行程別の反応時間

(2) 疲労感

図10にバンクーバー便における職位（機長と副操縦士）および行程（往路と復路）別の疲労得点の値を記した。機長の疲労得点は往路が 5.1 ± 0.8 ポイント、復路が 4.4 ± 1.2 ポイントであり、往路の疲労得点が復路より高い傾向を示した。また副操縦士の疲労得点も、往路が 5.3 ± 1.0 ポイント、復路が 4.3 ± 1.0 ポイントであり、往路の疲労得点が復路より高い傾向を示した。対応の無い二元配置の分散分析の結果、運航後の疲労得点の主効果に有意傾向が示された ($F[1, 20]=4.033, p=0.058$)。

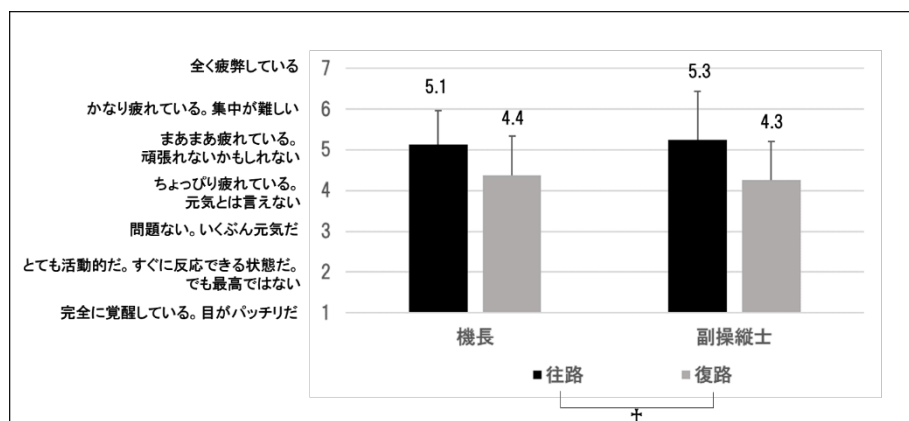


図 10. バンクーバー便における職位および行程別の疲労感

3-2-4. 職務

(1) 反応時間

図 11 にバンクーバー便における職務（Landing Crew と Relief Crew）および行程（往路と復路）別の反応時間を記した。その結果、Landing Crew の反応時間は、往路が 273.6 ± 24.3 ミリセカンド、復路が 295.9 ± 61.9 ミリセカンドであり、復路の反応時間が往路より遅い傾向を示した。一方、Relief Crew の反応時間は、往路が 298.0 ± 36.3 ミリセカンド、復路が 299.0 ± 55.2 ミリセカンドであり、往路と復路の反応時間は似ていた。また Landing Crew よりも Relief Crew の方で反応時間が遅い傾向を示した。しかしながら、対応の無い二元配置の分散分析の結果、職務および運航後の反応時間には統計的な有意差は示されなかった。

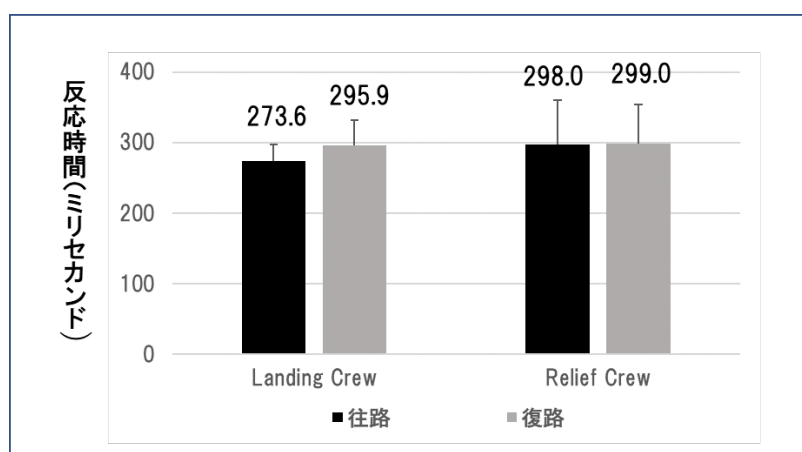


図 11. バンクーバー便における職務および行程別の反応時間

(2) 疲労感

図 12 にバンクーバー便における職務（Landing Crew と Relief Crew）および行程（往路と復路）別の疲労得点の値を記した。Landing Crew の疲労得点は往路が 5.1 ± 0.7 ポイント、復路が 4.3 ± 1.3 ポイントであり、往路の疲労得点が復路より高い傾向を示した。また Relief Crew の疲労得点も、往路が 5.2 ± 1.1 ポイント、復路が 4.4 ± 0.9 ポイントであり、往路の疲労得点が復路より高い傾向を示した。一方、Landing Crew と Relief Crew の疲労得点は似ていた。対応のない二元配置の分散分析の結果、往路・復路の疲労感に有意傾向が示された（ $F[1, 20]=3.948, p=0.061$ ）。

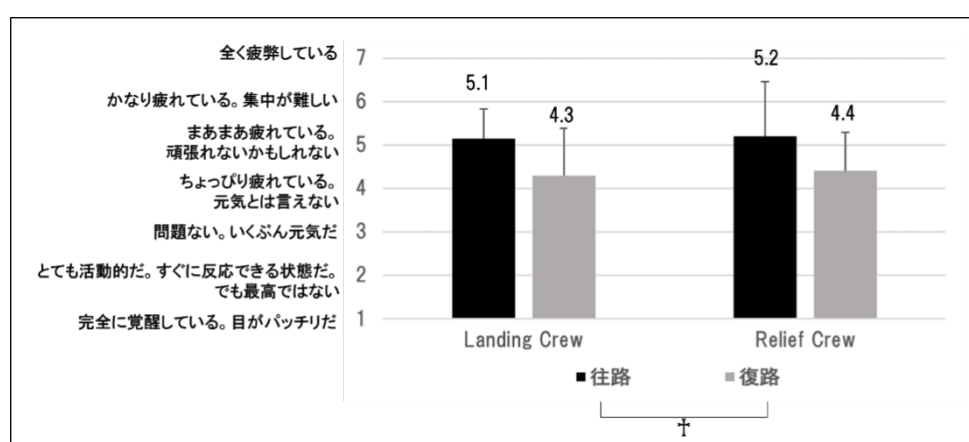


図 12. バンクーバー便における職務および行程別の疲労感

(3) 睡眠および覚醒

図 13 に Actiwatch によるバンクーバー便の B 機長の睡眠と覚醒状態を記した。データはすべて日本時間（JST）で記してある。B 機長は、バンクーバー便の往路前に短い仮眠を取っていた。往路後のステイ 1 日目には、午前中に 1 回、午後に 1 回の仮眠と主睡眠（睡眠の中で最も長い睡眠）を取っていた。ステイ 2 日目には、午後に 1 回の仮眠と主睡眠を取っていた。ステイ 2 日間の主睡眠は、いずれも 21:30 に開始され、04:30 に起床していた。ステイ 1 日目の主睡眠の 1 分間あたりの平均活動量は、 27.1 ± 98.4 回、ステイ 2 日目の主睡眠の 1 分間あたりの平均活動量は、 23.4 ± 73.2 回であることから、ステイ 2 日目の睡眠深度がステイ 1 日目に比べて高い傾向を示した。またステイ 2 日目は、睡眠を除いた 1 分間の平均活動量が、午前で 361.9 ± 340.2 回、午後で 72.9 ± 129.0 回であり、午後の活動量が減っている傾向を示した。

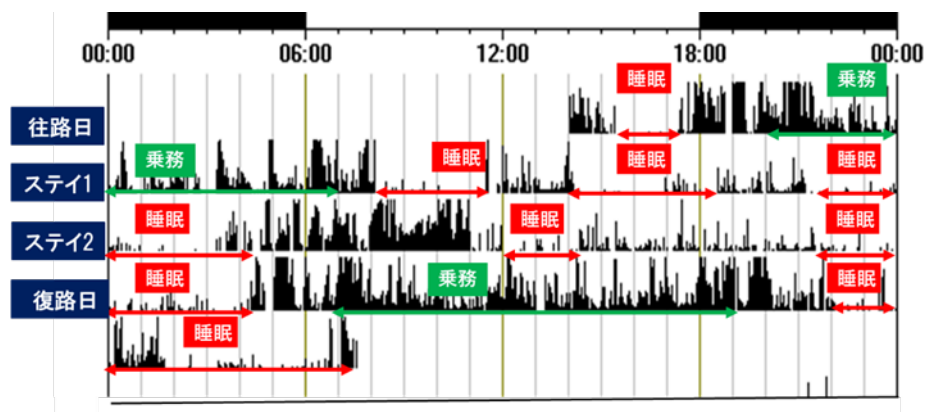


図 13. バンクーバー便における B 機長の睡眠および覚醒状態

3-3. シドニー便とバンクーバー便の比較

3-3-1. 反応時間

図 14 にシドニー便とバンクーバー便における往路と復路の反応時間を記した。その結果、シドニー便の反応時間は、往路が 317.7 ± 85.7 ミリセカンド、復路が 302.8 ± 72.6 ミリセカンドであり、往路の反応時間が復路より遅い傾向を示した。一方、バンクーバー便の反応時間は、往路が 283.3 ± 30.9 ミリセカンド、復路が 297.2 ± 56.6 ミリセカンドであり、復路の反応時間は、往路より遅い傾向を示した。しかしながら、対応の無い二元配置の分散分析の結果、シドニー便、バンクーバー便および運航後の反応時間には統計的な有意差は示されなかった。

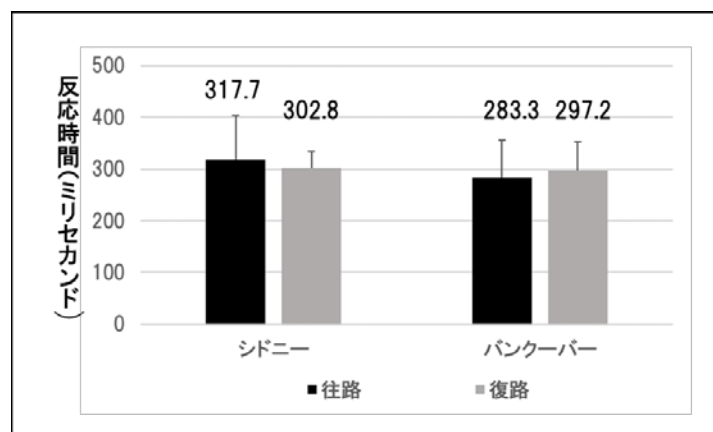


図 14. シドニー便、バンクーバー便の往路と復路における反応時間

3-3-2. 疲労感

図 15 にシドニー便とバンクーバー便における往路・復路の疲労得点の値を記した。シドニー便の疲労得点は往路が 5.5 ± 0.7 ポイント、復路が 6.0 ± 0.9 ポイントであり、復路の疲労得点が高い傾向を示した。一方、バンクーバー便の疲労得点は、往路が 5.2

±0.8 ポイント、復路が 4.3±1.1 ポイントであり、往路の疲労得点が復路より高い傾向を示した。対応の無い二元配置の分散分析の結果、シドニー便、バンクーバー便の疲労得点には有意差が示された ($F[1, 44]=15.840, p<0.0001$)。また便 (シドニーとバンクーバー) と行程 (往路と復路) の交互作用に有意差が示された ($F[1, 48]=7.040, p=0.011$)。

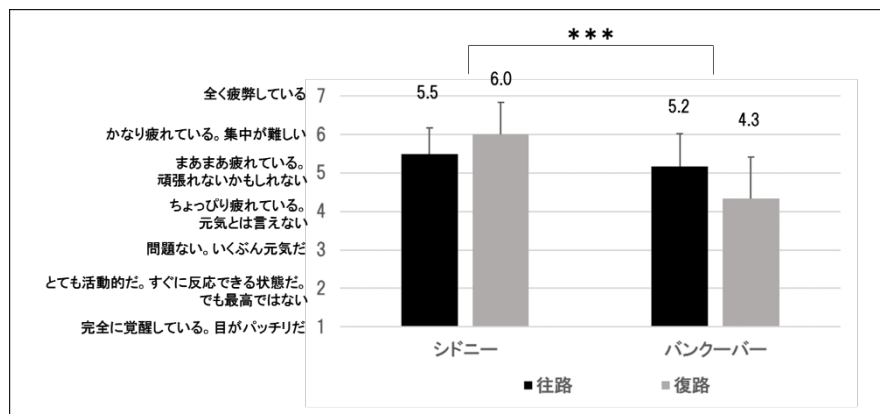


図 15. シドニー便、バンクーバー便の往路・復路における疲労感

4. 考察

本調査結果は、調査の途中結果であることからサンプル数が少ないものの、2017年調査[1]で、A社の運航乗務員の負担が高いと評価されたシドニー便とバンクーバー便の疲労を客観的に測定した。また一部の運航乗務員(機長)については、バンクーバー便の睡眠と覚醒状態も測定した。

4-1. 乗務前と乗務後の疲労

4-1-1. シングル編成での往路の疲労の低減策を打ち出すべきである

シドニー便においてもバンクーバー便でも、また反応時間でも疲労感でも乗務前に比べて乗務後の疲労が有意に進展していた(図1、図2、図7、図8)。一見、この結果は、疲労の科学から見れば、常識的に見える結果である。しかしシドニー便もバンクーバー便も、もし運航中に何らかの疲労低減策が行っていたならば、たとえ乗務前との間に有意差が生じたとしても、本調査の結果よりも、疲労レベルが大幅に低下したと思われる。

しかしながら、シドニー便もバンクーバー便でもそのような疲労低減策を講じることができなかったのは、本調査対象となったシドニー便およびバンクーバー便が、シングル編成だったからに他ならない。

そのような運航中に疲労対策が行えない場合は、乗務前の通勤手段や運航前日の勤務条件を整えることによって疲労を低減させることができる点は重要である。現段階では、サンプル数が十分でないことから、本報告書では、運航前日の勤務条件による疲労低減

効果の検討ができなかったが、今後は、シングル編成では、どのような勤務条件が疲労を低減させるのかを明らかにする必要がある。

4-1-2. 往路乗務前の自宅での疲労低減策には労働条件上の補償が必要である

またバンクーバー便のみの1例しかActiwatchのデータは得られなかったが、バンクーバー便の往路が日本時間（JST）の深夜運航であることから、運航乗務員は、往路乗務前の午後（15:30-17:30）に2時間の仮眠をとって疲労対策を行っていた様子が見える（図13）。人間の昼高夜低の生体リズムは、とても強固であり、夜勤を専門に行っている夜勤専従の労働者ですら、完全に生体リズムが夜勤に適応する者は3%未満と報告されていることから[7]、運航乗務員が乗務前に仮眠を取って夜間運航に備えていることは納得的である。おそらく、この運航乗務員の自主的な夜間運航対策は、シドニー便は往路も復路も日本時間（JST）の深夜運航であることから、同様に行われていることが推認される。この仮眠は、予防的仮眠[8]と呼ばれ、疲労低減には有効であることが知られている。したがって運航乗務員が自主的に運航時の安全を守るためにこのような対策をとっていることも納得的である。とくに15:30の時刻帯は、概半日リズム（概日リズムの半分の約12時間のリズム）[9]の睡眠に適した時刻帯であり、2時間の睡眠時間は睡眠1周期を含む睡眠となるから、疲労回復効果が大きいと考えられる。

しかしながら、この仮眠は、夜間のシングル編成で運航中に何らかの疲労対策ができないために、運航乗務員が労働時間外に自主的に行っている疲労低減策であることから、この仮眠について、なんらかの労働条件上の補償がなされることが望ましい。今後、この仮眠を取っていない運航乗務員で、どれほど疲労が蓄積しているかの検討していきたい。

一方、このような夜間覚醒に取る予防的仮眠は、夜間時刻帯の覚醒度を期待したほど維持できないという知見も報告されている[10]。それほど人間の概日リズムによる夜間の覚醒度の低下は大きいのである。

4-2. 往路と復路の疲労

4-2-1. 安全には疲労感より反応時間が重視される

往路と復路の比較では、シドニー便のみの反応時間に有意傾向が示され、復路より往路の反応時間が遅かったが（図1）、疲労感には有意差が示されなかった（図2）。たしかにシドニー便の往路運航では、復路運航より、反応時間で500ミリセカンド以上に遅い反応時間であるラプス回数（睡眠脳波のシータ波状態と同様で、マイクロスリープとも呼ばれる）が増加し、遅い10%成分の反応時間が復路より遅くなっている傾向が見られた（データは不掲載）が、統計的には有意差には至っていなかった。

一般的に、連続夜間覚醒実験では、夜間覚醒初日のラプス回数が2日目以降のラプス回数より多いことが知られており[11]、本知見もそれを踏襲したものと思われたが、反

応時間より疲労全体を反映する疲労感には、有意差が生じなかったことから、必ずしもこの仮説を説明できなかった。

ただし、反応時間は、一瞬の覚醒度の低下を反映しており、運航上の安全を考慮した場合、疲労感よりクリティカルな指標となる。今後、サンプル数を増やせば、有意傾向から有意差に変わることが十分に考えられるため、まずシドニー便の往路の安全性の確保ができる疲労低減策を行うことが急務と思われる。往路の疲労低減策としては、「乗務前と乗務後の疲労」で述べた通りである。

4-2-2. 早朝運航の疲労は、夜間運航にも匹敵する

またバンクーバー便では、往路と復路間に反応時間と疲労感の両方に差が示されなかった（図7、図8）。このことは、往路の深夜運航と同様に、復路の早朝運航の疲労が高いことを意味している。早朝勤務の問題は、これまでもさまざまな研究で指摘されている。たとえば運航乗務員を対象にした研究では、眠気がある乗務は、早朝勤務で多いという知見[12]、客室乗務員とトラックドライバーを対象にした研究[13]では、早朝勤務では、睡眠時間を短縮しても減少しない疲労回復に最も有効な徐波睡眠[14]が減少したという知見や、さらには運航乗務員を対象にした研究では、早朝勤務が連続すると睡眠時の心拍数が増加したという知見[15]がある。早朝勤務の負担は、Actiwatchからもバンクーバー便のステイ2日目の覚醒時の活動量が午前中よりも午後に大幅に減少していることからもうかがえる。つまり、これまでの疲労の科学的知見を援用するならば、このB機長は、ステイ1日目と同様に、午後の概日リズムのある時刻帯に仮眠を長く取ると、その晩の夜間主睡眠の質が落ちるため、眠ることはできないので、せめて体を動かさないようにして、翌日の乗務に備えていたということである。またそれは、このB機長がステイ1日目、ステイ2日目においても、21:30に就寝し、04:30に起床するという就寝時刻と起床時刻を復路の運航に備えて計画的に取っていたことからもうかがえる。

深夜運航、早朝運航全体の疲労の評価は、勤務後自宅睡眠が、たとえば連続休日の睡眠構築にどれだけ近づくかで評価されるが、本研究ではそのようなデータはまだサンプル不足で取れていない。今後の課題と言える。

4-3. 機長と副操縦士の疲労

4-3-1. サンプル数を増やして再検討すべき課題である

バンクーバー便においては、行程（往路と復路）間で、往路が復路よりも疲労感が高く、統計的有意傾向が示されたが（図10）、他の指標・要因には、統計的な有意差が生じなかった（図10、図11）。これはバンクーバー便の往路が日本時間（JST）の深夜運航、復路が日本時間（JST）の早朝運航であることを反映していると思われるが、バンクーバー便の全運航乗務員の疲労感には統計的な有意差が生じていなかったことから

説明がつかない(図8)。説明の可能性の1つは、現段階のサンプル数が少ないことによる検定力の低さであると思われる。これは、今後、サンプル数を増やして検証すべき課題である。

4-3-2. マルチプル編成では機長と副操縦士の疲労測定が重要である

これまでも機長と副操縦士の疲労については、機長と副操縦士間にある強いヒエラルキーが影響することが知られてきた[16]。また本調査においても、機長と副操縦士の間には10歳以上の年齢差が認められる。本調査結果には、機長と副操縦士の間の疲労に差が示されなかった(図3、図4、図9、図10)理由として、シドニー便およびバンクーバー便がシングル路線であったため、運航中にレストを取るなどの疲労低減策が講じ得なかったことが考えられる。2008年にグラスゴーで開催された第19回欧州睡眠学会においてカロリンスカ研究所のÅkerstedt博士は、マルチプル編成時の運航中のレストにおける運航乗務員の睡眠深度においては、機長はレスト中に疲労回復に重要な深睡眠が取れるが、副操縦士は深睡眠が取れていないことを報告した(図16)。

睡眠科学では、年齢の低い副操縦士の深睡眠が年齢の高い機長より多く出現することが知られているから、博士は、この矛盾が明らかに職位による副操縦士の緊張のためであると主張した。

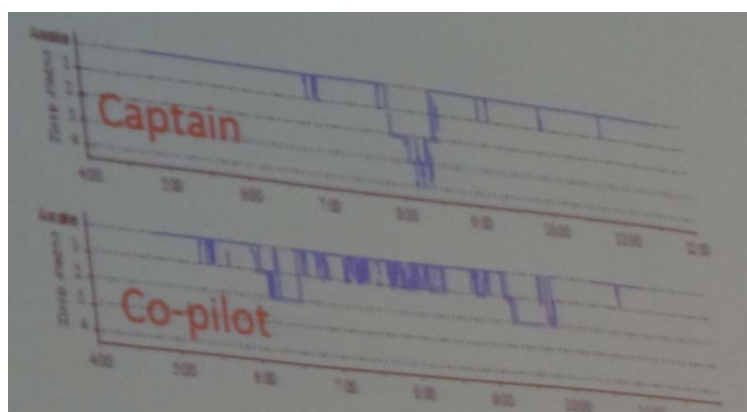


図16.機長と副操縦士のマルチ編成時のレスト中の睡眠構築

したがって、今後、マルチプル編成の運航乗務員の疲労を検討する際には、職位の差がレスト中の睡眠の質を介して疲労にどのように反映しているかの検討が重要になる。言い換えれば、マルチプル編成の運航乗務員の疲労を評価する際には、職位の差の検討を行わない調査は、運航乗務員の疲労を正しく評価していないことを意味する。

4-4. Landing Crew と Relief Crew の疲労

4-4-1. サンプル数を増やして再検討すべき課題である

バンクーバー便においては、行程(往路と復路)において、往路が復路よりも疲労感

が高く、統計的有意傾向が示されたが（図 10）、他の指標・要因には、統計的な有意差が生じなかった（図 9、図 10）。これは職位の結果と同様に、バンクーバー便の往路が日本時間（JST）の深夜運航、復路が日本時間（JST）の早朝運航であること、加えてシドニー便の往路では、Relief Crew を担った機長が 1 名、復路では誰もおらず、バンクーバー便では、往路で Relief Crew を担った機長は誰もおらず、復路では 2 名の機長が Relief Crew を担っていたことが、バンクーバー便で復路よりも往路の疲労感が高かった（図 10）理由として推認される。しかし職位の結果と同様、バンクーバー便の全運航乗務員の疲労感には統計的な有意差が生じていなかったこと（図 8）から説明がつかない。これもサンプル数に起因する現象と捉え、今後サンプル数を増やして検討すべき課題である。

4-4-2. マルチプル編成では Landing Crew と Relief Crew の疲労測定が重要である

これまでも Landing Crew と Relief Crew での疲労が異なるという知見が報告されている。たとえば 16 時間より長い超長距離運航便と長距離運航のマルチプル編成で疲労を PVT と SP 指標で比較した Gander らの研究[17]がある。そこでは彼女らは、Relief Crewの方が Landing Crew よりも有意に疲労を感じていた ($F[1, 202]=10.35, p=0.0015$) と報告している。したがって、少なくともマルチプル編成の疲労を評価するためには、Landing Crew と Relief Crew の疲労を測定することが重要と言えよう。

また、本調査では、乗務前後の疲労のみしか測定されておらず、このような運航中の疲労に影響する要因を評価するには、TOC (Top of Climb) や TOD (Top of Decent) といった運航中の測定が必要と思われる。これは今度の課題である。

4-5. シドニー便とバンクーバー便の疲労

4-5-1. シドニー便は連続夜間運航の復路、バンクーバー便は夜間運航の往路の疲労が高い

2017 年調査[1]では、労働負荷得点がバンクーバー便では 11 点、シドニー便では 10 点であり、1 点の差があった。そこでこの 2 便間の疲労の水準の比較を試みた。その結果、反応時間には有意差が示されなかった（図 14）が、疲労感にはシドニー便とバンクーバー便の間に統計的有意差が示され、有意にシドニー便の疲労感がバンクーバー便より高かった（図 15）。しかしながら、疲労感では、便（シドニーとバンクーバー）と行程（往路と復路）間に有意な交互作用も示された（図 15）。

このことは、まず往路復路も日本時間（JST）の夜間運航であるシドニー便の疲労蓄積が大きいことが言えそうである。次に、往路復路ではシドニー便とバンクーバー便では疲労の現れ方が異なり、シドニー便では復路の疲労がバンクーバー便では往路の疲労が高いとも言えそうである。これは往路と復路が日本時間（JST）の深夜運航であるシドニー便と往路が日本時間（JST）の深夜運航、復路が日本時間（JST）の早朝運航の

バンクーバー便の差が現れた結果と解釈される。

つまり日本時間（JST）の夜間運航こそが疲労を蓄積させる最大の原因であることが明らかになったと言える。

4-5-2. シドニー便もバンクーバー便の疲労も 16 時間を超える超長距離運航時の疲労と同等以上である

本研究結果と同様な指標を用いた研究として、上述した Gander らの研究[17]がある。彼女らの PVT 測定は、本調査で用いられた 5 分版であるが、測定機器が Palm Centro®(Palm Inc 社製、U.S.A.)のため、本研究で用いた PVT-192 よりも反応時間が遅くなる傾向があるため[18]比較できなかった。彼女らの SP 値では、超長距離運航便の往路乗務前の値が Landing Crew で 2.0 ポイント、Relief Crew で 2.5 ポイント、復路は Landing Crew で 1.0 ポイント、Relief Crew で 2.0 ポイントであった。一方、本調査のシドニー便の SP 値は、往路乗務前で 2.7 ± 1.1 ポイント、バンクーバー便では、 2.7 ± 0.8 ポイント、復路乗務前で 2.8 ± 0.8 ポイント、バンクーバー便では、 2.9 ± 0.7 ポイントである（図2、図8）から、Gander らに知見と同等か、それ以上の値を示しており、本調査の方が、疲労蓄積が認められたという結果になる。

直接の比較は慎重に行う必要があるものの、本調査のシドニー便やバンクーバー便は、16 時間より長い超長距離運航便、しかもこのような超長距離運航便では運航中にレストが取られているから、そのような運航条件の疲労より高かったことが推認されるのである。

5. 今後の課題

本研究では、現段階のサンプル数が十分でないため、統計の検定力が弱い傾向があり、十分な説明ができない点もあった。今後は、サンプル数を増やして、乗務前後の勤務条件の測定、乗務前中後の睡眠深度の測定、TOC (Top of Climb) や TOD (Top of Decent) での測定、マルチプル編成とシングル編成の測定など、運航乗務員の疲労を正しく評価するためのデータを集めていきたい。

また本研究と同時期に国土交通省が運航乗務員の疲労データを蓄積しているとのことであるから、是非、本研究データとの比較を行うことを望みたい。

さらに、とかく運航乗務員の疲労は、運航時のみのデータで評価されがちだが、最近の疲労研究では、朝型－夜型のような Trait like 要因[19]や、家族構成、通勤時間のような State like 要因[20]に着目した研究が行われている。とくに民間航空機運航乗務員の場合、Trait like よりも State like の要因が重要であり、たとえば様々な個人的な戦略（たとえば睡眠戦略）を用いて運航の安全性を守っていることが知られている[21]。

本研究においても、バンクーバー便の B 機長が、ステイ中に睡眠戦略を立てて乗務の

安全性を保持しようとしている様子や、往路時の自宅自由時間に予防的仮眠をとって乗務に備えている様子が垣間見れた。とくに乗務前の自宅自由時間を運航乗務員が日常的に乗務の安全性確保のために使用していたり、乗務後の自宅自由時間を乗務中に生じた疲労の回復のために使用しているとすれば、たとえば運航乗務員の有子率が他の職種の比率より低下している可能性も考えられ、この種の検討は、有効なストレス対策にもなる。疲労にとってストレス対策が重要なのは、疲労は過労へ、過労は疲弊へ、疲弊は疾病と進展していくが、疲労を過労へとするドライブがストレスだからである[22]。

また社会的価値である安全、健康、生活は、安全性は事故によってしか認識されず、健康性は疾病によってしか認識されないネガティブな概念であるのに対し、生活性は実感ができるポジティブな概念である[23]。

このことから運航乗務員の疲労対策が、まず生活性を拡大するような対策をたてれば、運航乗務員自らが安全や健康を維持するようになるという視点に立つて行われるべきであろう。

一方、Trait like 要因については、夜間運航には夜型が、早朝運航には朝型の運航乗務員が適しているとされる。スウェーデンでは、労働者に好きな時間に勤務ができるようにしたところ、朝型の労働者は日中を、夜型の労働者は夜間を選択したとの報告がある[24]。時間生物学の知見によると、夜型の人間も加齢にしたがって朝型になることが知られている[25]。本調査でも機長の年齢と副操縦士の年齢との差は 10 歳以上であったから、機長の生体リズムが朝型化している可能性も高い。

そこで諸外国の航空会社が行っているセニョリティ制度のように、年齢の高い運航乗務員から勤務を選べるようにすることも疲労対策として有効と思われる。今回の調査では、クロノタイプ調査は行っていないが、今後はこの種の調査も行われるべきである。

6. 結論

- (1) シドニー便、バンクーバー便の運航乗務員各 12 名の往路および復路の反応時間、疲労感を測定した。
- (2) 乗務前と乗務後ではシドニー便、バンクーバー便ともに復路の反応時間、疲労感が高かった。その理由は、両便ともシングル編成のために、運航中に疲労低減策が取れない状況にあることが考えられた。
- (3) 往路と復路では、シドニー便のみで復路より往路の反応時間が遅かった。その理由は、復路勤務前の予防的睡眠が効果的に取られていたのではないかと推測するが、疲労感では有意差が生じなかった。疲労感よりもクリティカルな反応時間の遅延は、安全上問題になることから、シドニー便の疲労低減策(例えば通勤負担の緩和、前日の勤務条件の緩和など)を講じることは急務である。

- (4) 職位による機長と副操縦士の反応時間、疲労感は異ならなかった。その理由は、本研究のサンプル数が少ないことが考えられた。また、これまでの知見では、マルチプル編成では、職位による疲労の差が生じることが知られているから、本研究対象がシングル編成で運航中にレストを取らないことが原因と考えられた。したがってマルチプル編成では職位を考慮した研究計画が必須である。
- (5) 職務による Landing Crew と Relief Crew の反応時間、疲労感は異ならなかった。その理由は、本研究のサンプル数が少ないことが考えられた。また、これまでの知見では、マルチプル編成では、職務によって疲労の差が生じることが知られているから、職位と同様、マルチプル編成では職位を考慮した研究計画が必須である。しかし職務による疲労は、乗務前後のみならず、TOC (Top of Climb) や TOD (Top of Decent) といった運航中の疲労の評価を含めないと正確には評価できないと考えられた。
- (6) シドニー便とバンクーバー便の比較では、疲労感がシドニー便でバンクーバー便より高かった。その理由としては、シドニー便が往路復路ともに日本時間 (JST) の深夜運航であり、バンクーバー便の往路は日本時間 (JST) の深夜運航、復路は日本時間 (JST) の早朝運航であることが考えられた。しかしながら、諸外国の 16 時間より運航時間が長い超長距離運航便の運航乗務員の疲労感よりも、本研究の疲労感のレベルが高いことが推認されるから、本研究の 2 路線では、なんらかの疲労低減策が早急にとられるべきである。
- (7) 本調査データは、国土交通省が行っている運航乗務員の疲労調査と比較されるべきである。

7. 引用文献

- [1]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.
- [2]ICAO. Fatigue Management Guide for Airline Operators 2nd Edition .2015.
- [3]Dinges DF, Powell JW. Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers.1985;17: 652-5.
- [4]Samn SW, Perelli LP. Estimating aircrew fatigue: A technique with implications to aircraft operations. Technical Report SAM-TR-82-21. Brooks AFB, Texas: USAF School of Aerospace Medicine.
- [5]佐々木司. 超長時間運航時代の国際線運航乗務員の睡眠と安全リスク対策. 睡眠マネジメント～産業衛生・疾病との係わりから最新改善対策まで～. 白川修一郎, 高橋正也監修. NTS. 東京. 2014.p100-114.
- [6]Samel A, Wegmann HM, Vejvoda M. Aircrew fatigue in long-haul operations.

- Accid Anal Prev. 1997;29(4):439-52.
- [7] Folkard S. Do permanent night workers show circadian adjustment? A review based on the endogenous melatonin rhythm. *Chronobiol Int.* 2008;25(2):215-24.
 - [8] Dinges DF, Orne MT, Whitehouse WG, Orne EC. Temporal placement of a nap for alertness: contributions of circadian phase and prior wakefulness. *Sleep.* 1987;10(4):313-29.
 - [9] Broughton R. Biorhythmic variations in consciousness and psychological functions. *Canadian psychological review.* 1975; 16:217-39.
 - [10] Åkerstedt T. Is there an optimal sleep-wake pattern in shift work? *Scand J Work Environ Health.* 1998;24 Suppl 3:18-27.
 - [11] Lamond N, Dorrian J, Burgess H, Holmes A, Roach G, McCulloch K, Fletcher A, Dawson D. Adaptation of performance during a week of simulated night work. *Ergonomics.* 2004;47(2):154-65.
 - [12] 佐々木司, 酒井一博. 国際線航空機乗務員の生活時間調査－乗務中の眠気の分析を中心に－. *労働科学.* 1997 ; 73 (9) : 369-77.
 - [13] Kecklund G, Åkerstedt T. Apprehension of the subsequent working day is associated with a low amount of slow wave sleep. *Biol Psychol.* 2004;66(2):169-76.
 - [14] Brunner DP, Dijk DJ, Borbély AA. Repeated partial sleep deprivation progressively changes in EEG during sleep and wakefulness. *Sleep.* 1993;16(2):100-13.
 - [15] 佐々木司, 松元俊. 運航乗務員の連続早朝勤務における睡眠の質の様相. *労働科学.* 2011 ; 87(5) : 201-6.
 - [16] Tjosvold D. Flight crew collaboration to manage safety risks. *Group Org. Man.* 1990;15:177-91.
 - [17] Gander PH, Signal TL, van den Berg MJ, Mulrine HM, Jay SM, Jim Mangie C. In-flight sleep, pilot fatigue and Psychomotor Vigilance Task performance on ultra-long range versus long range flights. *J Sleep Res.* 2013;22(6):697-706.
 - [18] Lamond N, Dawson D, Roach GD. Fatigue assessment in the field: validation of a hand-held electronic psychomotor vigilance task. *Aviat Space Environ Med.* 2005;76(5):486-9.
 - [19] Van Dongen HP, Bender AM, Dinges DF. Systematic individual differences in sleep homeostatic and circadian rhythm contributions to neurobehavioral impairment during sleep deprivation. *Accid Anal Prev.* 2012;45 Suppl:11-6.
 - [20] Darwent D, Dawson D, Roach GD. A model of shiftworker sleep/wake behaviour. *Accid Anal Prev.* 2012;45 Suppl:6-10.

- [21] Dorrian J, Darwent D, Dawson D, Roach GD. Predicting pilot's sleep during layovers using their own behaviour or data from colleagues: implications for biomathematical models. *Accid Anal Prev.* 2012;45 Suppl:17-21.
- [22] 佐々木司. 疲労と過労. 小木和孝編集代表. 産業安全保健ハンドブック. 神奈川. 労働科学研究所出版. 424-7. 2013.
- [23] 佐々木司. 労働者の睡眠から見た産業疲労管理の新戦略. 労研維持会資料. No1557/1558. 労働科学研究所出版部. 神奈川. 1999.
- [24] Ingre M, Åkerstedt T, Ekstedt M, Kecklund, G. Periodic self-rostering in shift work: correspondence between objective work hours, work hour preferences (personal fit), and work schedule satisfaction. *Scand J Work Environ Health.* 2012;38(4):327-36.
- [25] Roenneberg T, Merrow M. Entrainment of the human circadian clock. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol.* 2007;72:293-9.