

氏名（本籍）	ヤマダ シンペイ 山田 晋平（石川県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	工博甲第62号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	平成26年9月24日
学位論文題目	蓄積疲労の兆候を検出する簡便なシステムの開発と現場での運用を通じた実用性の検証
論文審査委員	（主査）教授 大須賀 美恵子 教授 筒井 博司 教授 松村 潔 教授 三宅 晋司（産業医科大学）

論文の内容の要旨

過重労働の対策として「時間外労働が月 100 時間を超え、疲労の蓄積が認められ、申出を行った者」に対して医師による面接指導の実施が事業者に義務付けられている。この基準では、医師による面接が必要な労働者であっても本人の申し出がないと面接が行われず、対応が遅れる可能性がある。そこで、疲労が蓄積している可能性のある者をスクリーニングして医師の面接を薦める仕組みが必要だと考える。これには、疲労を客観的かつ定量的に捉える手法が必要であるが、疲労の評価方法は確立していない。疲労の分類や定義すら、研究分野や研究者により異なっているのが現状である。

そこで、本研究に取り組むにあたり、対象とする蓄積疲労の定義を明らかにし、その捉え方を整理し、多面的な評価が必要であることを確認した。その上で、時間外労働時間などの外的負荷や本人の主観だけでなく、複数の生理指標と精神作業の作業成績を組み合わせて、多面的に蓄積疲労の兆候を検出する手法を開発することを第 1 の目的とした。さらに、この手法を定常的に利用してもらえる実用的なものにするべく、利用者が自分で計測でき、1 回あたりの計測に伴う時間と手間が許容範囲である装置を開発し、現場（企業）での運用を通して、提案手法の受容性と妥当性を検証することを第 2 の目的とした。

本論文は、6 章で構成される。

第 1 章では、本研究が必要とされる背景について述べ、疲労の概念を整理し、ここで取り上げる蓄積疲労の定義を明確にしている。蓄積疲労は、先行する負担の強さと時間に依存すること、自覚的疲労、他覚的疲労、生理的疲労があり、多面的な評価が必要であることを確認している。これらの疲労の側面を検出するための具体的な指標について、先行研究を調査し、本研究で取り上げる指標について概説している。

第 2 章では、蓄積疲労で用いる指標の予備検討として、学生 15 名を対象とした実験室内の実験で、疲労に対応して変化する指標の探索を行った結果について述べている。ここでは、長時間（100 分）の暗算作業によって発生する疲労を対象とした。暗算前後と暗算後の 20 分の休息後の 3 つの時点における主観指標（自覚的疲労の指標）、作業成績（他覚的疲労の指標）、生理指標（生理的疲労の指標）の値を比較し、山型（疲労で増加する指標の場合）あるいは谷型（疲労で減少する指標の場合）の指標を急性疲労の指標、作業後に増加（低下）するが休息後に完全に戻らない指標を亜急性疲労の指標として選定した。これらの指標は、蓄積疲労の指標の候補となる。

第 3 章では、第 2 章で選定した指標が蓄積疲労にも対応するかどうかを検討した。蓄積疲労を生じさせる実験は倫理的に問題があり実施しにくいいため、学生 14 名を対象とし、定期試験により蓄積疲労が発生すると仮定して、定期試験を含む期間とそうでない期間の各指標の変化を検討した。一部の指標において、定期期間中とそれ以外の期間で有意な違いが見られ、蓄積疲労の指標として用いられる可能性が見いだされたが、試験の負担を問うアンケートや試験期間中の睡眠時間などから、定期試験による負荷・負担が大きくなかつ

たとえられる対象者が多く、指標の絞り込みには至らなかった。また、個人によって、有意な差を生じる指標が異なり、指標値も変化量も異なることが示され、個人差への対応が必須であることが確認された。

第4章では、第3章の結果に基づき、各指標の変化が有意なものかどうかを個人ごとに判定する方法と、単一の指標ではなく複数の指標を組み合わせて蓄積疲労を検出する方法を提案した。前者は、個人内で繰り返し計測した指標値の平均値と標準偏差から標準得点（いわゆる Z 得点）を求め、この標準得点に対し閾値を設定することで、有意な変化を検出するものである。後者は、これまでの検討から、蓄積疲労に伴って変化する可能性のある指標で比較的簡便に計測できるものを選定した。具体的には、外的な負荷・負担として、1) 睡眠時間と余暇時間、主観指標として 2) 自覚症しらべから抽出した疲労感に関わる 10 項目、作業成績として 3) 視覚探索課題の探索時間、生理指標として 4) 重心動揺指標、5) 心電図 と脈波から得られる心拍数と脈波伝達時間、6) 心電図から得られる心拍変動指標の 6 つのカテゴリの指標である。それぞれ複数の指標からなるが、標準得点と閾値を比較してカテゴリごとに、有意な変化かどうかを判定する基準を設定した。さらに、これらの 6 つのカテゴリのうち、3 つ以上が有意な変化を示したときに、蓄積疲労の兆候があると判定するアルゴリズムとした。

以上の指標を被計測者が自ら計測できるように簡便なシステムを開発して、研究室の洗面台に設置し、学生 4 名を対象として自発的に計測を行わせた。計測期間は、蓄積疲労が想定される卒業研究の追い込み時期と卒業研究発表会後の余裕のある時期を含む期間とした。実験の結果、単独で計測ができ、繁忙期においても計測がなされ計測システムの受容性が確認された。検出日を 3 日以内になるよう閾値を調整した場合に、蓄積疲労が想定されるイベントに関連した日が検出され、考案したアルゴリズムの妥当性が示された。さらに、検出に用いられた指標は 6 つのカテゴリに渡っており、多面的な評価の有効性を示す結果となった。

第5章では、労働現場で運用できる実用性の確保を目標に、企業でも継続して利用してもらえるように、計測システムの改良を行った。このシステムの受容性と検出方法の妥当性の検証が行えるフィールドの選定条件を検討し、複数の企業に交渉した。その結果、必ずしもすべての条件を満たさないまでも実験に協力してもらえる企業が見つかったので、2 ヶ月に渡る運用試験を実施した。対象は日勤労働者 20 名で、このうち 19 名が、週 2 回以上、計 15 回以上の計測を行うことができ、指標によってはデータに欠損がみられたが疲労の蓄積を検討するに足るデータを継続的に得ることができ、システムの受容性を確認した。

現行の基準の該当者がいなかったため、現行の基準の該当者を漏れなく検出できるかについての検討は行えなかった。現行の基準で検出されない蓄積疲労の検出については、1) 出張や残業時間から抽出した日、2) 同僚から疲れていると指摘された日、3) 自由記述より蓄積疲労がうかがえた日を外的基準として抽出し、これらが検出できるように閾値を調整するという方法で検討した。閾値を下げると検出漏れがなくなるのは当然であるが、該当日以外の検出が誤検出であるとは必ずしも言えない。そこで、ランダムな検出アルゴリズムを仮定した場合の検出期待値との比率で検出力を評価し、考案したアルゴリズムで偶然

では得られない検出が行えていることを示した.

第6章は, 結論であり, 本論文の内容を要約するとともに, 本研究の成果の活用に向けての課題について述べている.

論文審査の結果の要旨

本論文は、過重労働の対策として、疲労が蓄積している可能性のある者をスクリーニングして医師の面接を薦めるための仕組みを提供するものである。現行の基準では、「時間外労働が月 100 時間を超え、疲労の蓄積が認められ、申出を行った者」に対して医師による面接指導の実施が事業者に義務付けられているが、この基準で見逃される対象者を見出すことを目的としている。この目的に向けて、多面的な評価による蓄積疲労の検出手法を提案し、利用者自らが計測できる簡便なシステムを開発した。さらに、開発したシステムを現場で運用して、提案した手法の受容性と妥当性を評価した。

得られた主な研究成果は以下のとおりである。

- (1) 対象とする蓄積疲労の概念を整理し、対象とする蓄積疲労の定義を明確にした。蓄積疲労は、先行する負担の強さと時間に依存すること、自覚的疲労、他覚的疲労、生理的疲労があり、多面的な評価が必要であることを確認した。
- (2) 実験室内での暗算負荷実験の前後と休息後、および定期試験による蓄積疲労が想定される期間とそうでない期間に、主観的指標、精神作業の作業成績、生理指標を多面的に計測し、これらの中から蓄積疲労の指標の候補を選定した。また、個人差への対応が必須であることを確認した。
- (3) 個人内で繰り返し計測した指標値の平均値と標準偏差から標準得点（いわゆる Z 得点）を求め、この標準得点に対し閾値を設定することで、有意な変化を個人ごとに判定する方法を提案した。さらに、選定した指標を 1) 睡眠時間と余暇時間、2) 自覚症しらべから抽出した疲労感に関わる 10 項目、3) 視覚探索課題の探索時間、4) 重心動揺指標、5) 心拍数と脈波伝達時間、6) 心拍変動指標の 6 つのカテゴリに分けて標準得点と閾値を比較して有意な変化を検出する基準を設定し、これらの 6 つのカテゴリのうち、3 つ以上が有意な変化を示したときに、蓄積疲労の兆候があると判定するアルゴリズムを考案した。
- (4) 被計測者が自ら計測できる簡便な計測システムを開発して、卒業研究中の学生を対象に、追い込み時期とそうでない時期を含む期間に実験を行い、自主的な計測が行えたことからシステムの受容性を確認した。また、提案したアルゴリズムによる検出日が蓄積疲労の想定されるイベントに関連した日と一致したことから手法の妥当性を確認した。
- (5) 企業でも継続して利用してもらえるように、計測システムの改良を行い、協力が得られた企業において運用試験を実施し、日勤作業による継続的な計測が可能であることを確認した。また、考案したアルゴリズムで検出される日と設定した外的基準を満たす日の比較により偶然では得られない検出が行えていることを示した。

以上のように、本論文は、蓄積疲労の兆候を検出するアルゴリズムの開発とその実装と運用評価を行った。産業場面での実用化にはさらなるデータの蓄積と検証が必要であるが、その目標に向けての有用な成果が得られた。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。