

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科特定課題研究報告書

(株)いいじまの自動販売機管理事業における
作業の疲労度予測と効率化に関する研究

田 夢 修士 (ビジネス)

吳 洲 修士 (ビジネス)

周 朝 修士 (ビジネス)

李 玲玉 修士 (ビジネス)

(経営・政策科学専攻)

指導教員 吉瀬 章子

2014 年 3 月

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科特定課題研究報告書

(株)いいじまの自動販売機管理事業における 作業の疲労度予測と効率化に関する研究

201220569	田 夢	修士 (ビジネス)
201220557	吳 洲	修士 (ビジネス)
201220563	周 朝	修士 (ビジネス)
201220582	李 玲玉	修士 (ビジネス)

(経営・政策科学専攻)

指導教員 吉瀬 章子

2014 年 3 月

A Study on Fatigue Degree Prediction of Workloads in Vending Machine Operation
at Iijima Corporation and Promotion of Their Efficiency

報告書要旨

本研究では、株式会社いいじまの自動販売機管理事業を対象として、従業員の作業疲労度を予測し、各従業員の疲労特性に合わせた自動販売機の割当てと配送ルートの構築を提案することで、株式会社いいじまの作業効率の検討を行う。

第2章では、自動販売機管理において必要となる作業に注目し、各自動販売機(586台)の特性を表す項目と各従業員(6人)の疲労度との関係に関する分析を行っている。順序ロジットモデルを用いて、各従業員の各自動販売機に対する作業疲労度予測モデルを構築する。さらに各モデルにおいて相関分析を行って適切な変数を選択することにより、予測モデルの正答率の精度を向上させた。

第3章では、株式会社いいじまの自動販売機管理事業における従業員の疲労特性を考察する。第2章で行ったアンケート調査結果と作業疲労度予測モデルに基づき、AHPモデルを用いて分析を行うことにより、各配送コース間の作業量比重、各従業員の各作業に対する疲労特性、各従業員の総合的な疲労度比重を求めることができた。この結果、従業員に対する自動販売機の割当てを見直すことで、作業効率を改良できる可能性があることがわかった。

第4章では、株式会社いいじまの自動販売機管理事業における清涼飲料水の配送経路問題を解くための2つの最適化モデルを構築する。これらのモデルでは、経路の総距離のみならず、各従業員の疲労度も考慮する。1つ目のモデルでは、配送経路と従業員の疲労度の総合を最小とすることを目的としており、2つ目のモデルでは、従業員の疲労度間のバランスを保つことを目的としている。最適解の導出には最適化ソルバーFico Xpressを利用する。第2章で算出した作業疲労度予測モデルを基に必要なデータを準備し、計算機実験を行い、結果の考察を行う。

第5章では、作業疲労度を考慮した効率のよい自販機巡回路を求める。株式会社いいじまは、配送経路設計を行う際、効率化の課題と、流通負荷のバランスを取ることが、主要な関心事となっている。この配送経路問題を解決するため、まずSPSSソフトウェアを利用して、いくつかの集約的流通拠点をおき、k平均法でクラスタに分割することを考える。次に、発見的解法である最近挿入法で実行可能なルートを算出し、さらに地域最適化バランスングに対する有効な負荷量を達成するため、最近挿入法のプログラムに基づき、実現可能性な経路を作成、各領域の疲労度を利用するコンピューターシュミレーションを行う。前述の問題に対する可能なソリューションを探求するため、「最初にクラスタ作成、次にルート作成、最後に負荷のバランスング」という考え方を提示する。

第6章では、2章から5章を踏まえて、株式会社いいじまの自動販売機管理事業における作業効率向上に向けた総合的な検討を行う。

Summary

This research deals with the Vending Machine Management Operations in Iijima Corporation. We aim to construct a work fatigue prediction model and optimization models for solving the VRP (Vehicle Routing Problem) to examine the possibility to improve the work efficiency.

In chapter 2, we focus on necessary operations in managing the vending machines and analyze the relationship between the fatigue level of each employee and the characteristic data of each vending machine. Based on the ordered logit model, we build a work fatigue prediction model for each vending machine and for each employee. We also improve the percentage of the number of fatigue levels answered correctly by performing the analysis of correlation among the variables.

In chapter 3, we observe fatigue features Iijima Company employees in management of vending machines. Based on the results of questionnaire survey and the prediction model of work fatigue proposed in Chapter 1, we obtained a specific gravity of workload among employees' delivery routes, characteristic fatigue features of each employee for each work. And a comprehensive specific fatigue gravity of each employee. As a result, we found that there is a possibility so that the work efficiency will be improved by re-examining the assignment of vending machines to employees.

In chapter 4, we construct two optimization model for solving the VRP (Vehicle Routing Problem) of Vending Machine Management Department in Iijima Corporation. In our models, we consider not only the total distance of routes, but also the fatigue of each employee. Differently from normal VRP, the first model aims to minimize the sum of the total distance of routes and the fatigue of all employees and the second model aims to balance among workloads of employees. We use the optimization solver, Fico Xpress, to compute an optimal solution for each model. By preparing the necessary data based on the prediction model of work fatigue of employees proposed in Chapter 1, we

conduct the numerical experiments and observe the results.

In chapter 5, in order to characterize the route design problem, we first aim at focusing on applications of the k-means clustering algorithm using SPSS software for dividing the ownership of intensive distribution points into several clusters. We then make a feasible route among the points of each cluster using nearest insertion heuristics algorithm and reconstruct the clusters to improve workload balancing considering fatigue degree of each region provided in Chapter1. In this chapter, we present a framework so called “cluster-first, route-second, balancing-third” method to explore possible solutions to this issue.

In Chapter 6, we discuss the possibility to improve the work efficiency of Vending Machine Management Business in Iijima Corporation based on the results in precedent five chapters.

目次

第1章 序論（共著）	1
1.1 はじめに.....	2
1.1.1 研究背景.....	2
1.1.2 研究目的.....	2
1.1.3 研究構成.....	2
参考文献.....	3
第2章 従業員の各自動販売機に対する作業疲労度予測モデルの構築.....	4
2.1 序論.....	6
2.1.1 研究背景と目的.....	6
2.1.2 先行研究.....	6
2.1.3 本章の構成.....	7
2.2 調査の概要	8
2.2.1 調査の対象・方法.....	8
2.2.2 データ	8
2.3 分析.....	9
2.3.1 モデルの構築.....	9
2.3.2 作業疲労度予測の計算実験.....	10
2.3.3 モデルによる予測結果.....	16
2.4 予測モデルの結果により考察	18
2.5 結論と課題	19
2.5.1 結論.....	19
2.5.2 今後の課題.....	20
参考文献.....	20
第3章 作業疲労度予測モデルに基づく従業員の疲労特性に関する AHP 分析	21
3.1 はじめに.....	23
3.1.1 研究背景	23
3.1.2 研究目的	23
3.1.3 本章の構成.....	23
3.2 ヒアリング調査.....	24
3.2.1 株式会社いいじまにおけるヒアリング調査の実施概要.....	24
3.2.2 株式会社いいじまにおけるヒアリングの調査結果.....	24
3.3 各従業員に対するアンケート調査.....	24
3.3.1 調査方法	25
3.3.2 各従業員が担当する作業量と自動販売機との関係	25
3.4 分析方法.....	27
3.4.1 AHP の概要.....	27

3.4.2	AHP の仕組み.....	27
3.5	作業疲労度予測モデルの数値に基づく AHP モデル分析.....	28
3.5.1	AHP モデルによる各配送コース間の作業量の分析.....	29
3.5.2	AHP モデルによる各従業員における作業項目間の疲労特性の分析.....	30
3.5.3	AHP モデルによる各作業における従業員間の疲労特性の分析.....	33
3.6	考察.....	36
3.7	今後の課題.....	37
	参考文献.....	37
第 4 章	作業疲労度を考慮した効率のよい自動販売機巡回路を求めるための最適化 モデルの構築.....	38
4.1	序論.....	40
4.1.1	研究背景.....	40
4.1.2	研究目的.....	40
4.1.3	本章の構成.....	40
4.2	既存研究.....	41
4.3	本研究での取り組み.....	42
4.3.1	株式会社いいじまの自動販売機管理事業の概要.....	42
4.3.2	モデルの概要.....	42
4.3.3	モデル 1：従業員全体の疲労度を最小化.....	42
4.3.3.1	記号の定義.....	42
4.3.3.2	目的関数.....	43
4.3.3.3	制約条件.....	44
4.3.3.4	部分巡回路の処理.....	44
4.3.4	モデル 2：従業員の作業量のばらつきを最小化.....	46
4.3.4.1	記号の定義.....	47
4.3.4.2	目的関数.....	47
4.3.4.3	制約条件.....	47
4.3.4.4	目的関数における絶対値に対する処理.....	47
4.3.5	データ.....	48
4.3.5.1	疲労度のデータ.....	48
4.3.5.2	拠点間距離のデータ.....	49
4.4	結果.....	50
4.4.1	モデル 1 の結果：従業員全体の疲労度を最小化.....	50
4.4.2	モデル 2 の結果：従業員の作業量のばらつきを最小化.....	51
4.4.3	計算機実験出力の例.....	51
4.4.4	二つの結果の比較.....	52
4.5	考察.....	53
4.6	今後の課題.....	53

参考文献.....	54
Chapter 5 Heuristic Algorithms for Finding Efficient Routes of Vending Machines Considering Work Fatigue.....	55
5.1 Introduction.....	57
5.1.1 Research Background.....	57
5.1.2 Objective.....	57
5.2 Literature Survey.....	57
5.3 Formal Foundations.....	58
5.3.1 The Definition of Problem.....	58
5.3.2 Data Processing.....	59
5.4 Research Method.....	61
5.4.1 K-means Clustering Analysis Using IBM SPSS.....	61
5.4.2 Nearest Insertion Algorithm for the TSP.....	63
5.4.3 Improvement Method.....	65
5.5 Experiment results.....	67
5.6 Discussion.....	68
5.7 Conclusion and Future Work.....	70
Reference.....	70
第6章 結論.....	72
謝辞.....	76
付録.....	77
付録Ⅰ 従業員作業プロセスに関するアンケート.....	77
付録Ⅱ 各自動販売機ごとの作業疲労度（586台）.....	79
付録Ⅲ 各従業員の疲労特性及び疲労度比重.....	89
付録Ⅳ プログラムコード（モデル1：従業員全体の疲労度を最小化）.....	92
付録Ⅴ モデル1（従業員全体の疲労度を最小化）のアウトプット.....	94
付録Ⅵ プログラムコード（モデル2：従業員の作業量のばらつきを最小化）... ..	96
付録Ⅶ モデル2（従業員の作業量のばらつきを最小化）のアウトプット.....	98
Appendix VIII Matlab Program Code.....	100

図目次

図 2-1	自動販売機 1 台の管理に必要となる作業	6
図 2-2	各従業員の担当台数	9
図 2-3	R による C 氏の車両から自動販売機までの移動の作業疲労度の計算結果 (11 個の変数すべてを独立変数とみなした場合).....	12
図 2-4	R による C 氏の車両から自動販売機までの移動の作業疲労度の計算結果 (8 個独立変数の時).....	14
図 2-5	各従業員に対する各作業の疲労度.....	19
図 3-1	株式会社いいじまの各従業員が担当する自動販売機台数.....	23
図 3-2	作業項目「駐車の手間」に関する自動販売機の設置場所特性<屋内・屋外> と各配送コースの作業量総計	26
図 3-3	作業項目「車両から自販機までの移動」に関する自動販売機の設置場所の特 性<エレベーター有無>と各配送コース間作業量総計.....	26
図 3-4	AHP モデルの階層図.....	27
図 3-5	株式会社いいじま作業全体における各配送コース作業量比重 AHP 階層図	30
図 3-6	従業員 A 氏の疲労特性 AHP 階層図	31
図 3-7	作業ごとの各従業員の疲労特性 AHP 構造図.....	33
図 4-1	出力による部分巡回路が出た状況.....	45
図 4-2	処理した部分巡回路の例.....	46
図 4-3	別の部分巡回路が出た状況.....	46
図 4-4	model1.dat の一部分 (1)	48
図 4-5	model1.dat の一部分 (2)	50
図 4-6	部分巡回路をなくす制約条件を入れる前の出力の例	51
図 4-7	部分巡回路をなくした後の出力の例.....	52
Figure 5-1	Earth Coordinate System	60
Figure 5-2	A Portion of the Data File Showing the Saved Cluster Membership Variable	61
Figure 5-3	The First Cluster	62
Figure 5-4	The Second Cluster	62
Figure 5-5	The Third Cluster	62
Figure 5-6	The Fourth Cluster	62
Figure 5-7	The Fifth Cluster	63
Figure 5-8	The Sixth Cluster	63
Figure 5-9	The General Distribution of Six Clusters.....	63
Figure 5-10	The Feasible Route of Cluster 4	64
Figure 5-11	The Initial Maximum and Minimum of Clusters.....	65
Figure 5-12	The Final Maximum and Minimum of Clusters.....	66

Figure 5-13	The Adjusted Travelling Routes of Six Routes.....	67
Figure 5-14	The Adjusted Cluster 1.....	67
Figure 5-15	The Adjusted Cluster 2.....	67
Figure 5-16	The Adjusted Cluster 3.....	68
Figure 5-17	The Adjusted Cluster 4.....	68
Figure 5-18	The Adjusted Cluster 5.....	68
Figure 5-19	The Adjusted Cluster 6.....	68

表目次

表 2-1	C 氏の車両から自動販売機までの移動の作業疲労度データの相関分析	13
表 2-2	各予測モデルの独立変数.....	15
表 2-3	各従業員に対する各自動販売機の作業ごとの作業疲労度	17
表 2-4	各自動販売機ごとの作業疲労度	18
表 3-1	作業項目「駐車の手間」に関する、自動販売機の設置場所の特性<屋内・屋外>と各配送コースの疲労度のクロス表	25
表 3-2	作業項目「車両から自販機までの移動」に関する自動販売機の設置場所の特性<エレベーター有無>と各配送コース間作業量のクロス表.....	26
表 3-3	従業員 6 名が全 586 台自動販売機を担当する場合の各作業の疲労度	29
表 3-4	株式会社いいじま全体の 5 作業項目の一対比較表	30
表 3-5	A 氏が A コースを担当する時の 5 作業項目の一対比較表.....	31
表 3-6	A 氏の 6 つの評価基準 (6 つの配送コースを担当する時) からみた 5 つの代替案(作業項目)のウェイト	32
表 3-7	A 氏の疲労特性	32
表 3-8	B 氏～F 氏の疲労特性	33
表 3-9	各配送コースごとの作業量比重	34
表 3-10	株式会社いいじまの作業全体における A コースの各作業に感じた疲労度の一対比較表	34
表 3-11	各配送コースからみた 5 つの作業の総合的な比重	35
表 3-12	作業項目「駐車の手間」に対する 6 名従業員の疲労度の一対比較表	35
表 3-13	各作業ごとの各従業員が感じられた疲労度比重	35
表 3-14	各従業員の総合的な疲労度比重.....	35
表 3-15	各作業の総合的な疲労度比重結果の比較	36
表 4-1	厳密解法と発見的解法の比較	41
表 4-2	株式会社いいじまの自動販売機管理事業の概要	42
表 4-3	モデル 1 における記号の定義.....	43
表 4-4	モデル 2 における記号の定義.....	47
表 4-5	田からもらった自動販売機での疲労度データ	48
表 4-6	安江(2013)による拠点間の距離データ(単位 : m)	49
表 4-7	処理したグループごとの拠点間の距離	50
表 4-8	比較出力結果	52
Table 5-1	The Latitude and Longitude of Vending Machines.....	59
Table 5-2	The Result of XY-Coordinate of Vending Machines.....	61
Table 5-3	The Vending Machines Allocated to the Clusters.....	62
Table 5-4	The Contrast Chart of the Initial and Final.....	66
Table 5-5	The Contrast of Initial and Final Workload.....	68

Table 5-6	Workload Comparisons between Different Convergence Criterion and Different Iteration Times	69
表 6-1	実験環境	74
表 6-2	解法別の出力結果比較	74