

NAIST-IS-DD0461023

博士論文

Webユーザビリティ評価のための
インタラクション分析

中道 上

2007年2月9日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

中道 上

審査委員：

松本 健一 教授	(主指導教員)
小笠原 司 教授	(指導教員)
門田 暁人 助教授	(指導教員)
島 和之 助教授 (広島市立大学)	

Web ユーザビリティ評価のための インタラクション分析*

中道 上

内容梗概

近年、Web ユーザビリティは企業の売上に影響するなど重要性が高まっており、使いやすい Web サイトを構築するため、ユーザビリティに関する問題を見つける Web ユーザビリティ評価が行われている。Web ユーザビリティ評価の代表的な手法として、実際にユーザに操作してもらい、評価者がそのインタラクションから問題を見つけるユーザビリティテストが広く行われている。ユーザのインタラクションはおもに VTR で記録され、ユーザが閲覧した多くの Web ページから問題点を見つけるため、知識と経験を持った評価者が多くの時間と労力を費やしている。本論文では、評価者による分析を必要とする Web ページを削減するため、定量的データを利用して Web ユーザビリティの低いページを検出できるかインタラクション分析を行った。ここで定量的データとは、滞在時間、マウスや視線の動きといった Web ページ閲覧中のユーザのインタラクションを定量的に記録したデータである。また、これらのインタラクションに関する定量的データを分析することをインタラクション分析とする。

Web ページ単位での定量的データのインタラクション分析を行うため、定量的データを記録し、Web ページ単位での集計が可能なユーザビリティ評価支援環境 WebTracer を開発した。WebTracer では、ブラウザ機能を組み込むことによって定量的データを Web ページ単位に集計することを可能にした。従来の定量的データを記録した VTR では、解像度が低い、データ量が膨大といった問題もあったが、

* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, NAIST-IS-DD0461023, 2007 年 2 月 9 日.

遅延キャプチャ方式によって既存のビデオ圧縮方式である MPEG-2 や MPEG-4 に比べて 1/10 から 1/20 のデータサイズで Web 操作画面を記録できる。遅延キャプチャ方式とは、Web アプリケーションの表示の特徴を用いて、高解像度の画面を比較的小さな記録データ量で時系列に記録・再現する方式である。記録した定量的データを統合して再生することによって、Web ページからユーザビリティに関する問題点の検出を支援できる。

次に、記録した定量的データのうち、Web ユーザビリティの低いページの検出に有効な定量的データを明らかにするため、判別分析を適用した。実験において被験者が使いにくいと評価したページを Web ユーザビリティの低いページとする。分析の結果、注視点移動速度が最も検出に有効な定量的データであり、さらにマウスのホイール回転量も利用することにより、Web ユーザビリティの低いページ 18PageView のうち 17PageView を検出することが可能となった。これらの検出された Web ページでは、ユーザは目的の情報につながるリンクが見つからず迷っている状況にあるため、使いにくいと評価しており、このような状況ではユーザは注視点移動速度が高くなり、頻繁にホイールを利用することがわかった。そして、評価者による分析を必要とする Web ページを 192PageView から 89PageView の約 1/2 に削減することが可能となった。

キーワード

視線情報，注視点，ユーザビリティ，評価，ヒューマン・コンピュータ・インタラクション

Interaction Analysis for Web Usability Evaluation*

Noboru Nakamichi

Abstract

The usability of a Web site is so important that it can influence the amount of sales. To create easy-to-use Web pages, an evaluation of usability is required. Web usability is evaluated to discover the problem on a website generally. Among various methods for usability evaluation, usability testing is widely used. Usability testing is a method of discovering problems based on users' interaction. Users' interactions are mostly recorded on VTR. Evaluators with knowledge and experience take cost for discovering problems from a lot of pages users browsed. The purpose of this research is to reduce the number of web pages which should be evaluated. I did interaction analysis to detect low usability web pages from quantitative data. Quantitative data are recorded data quantitatively such as browsing time, mouse movement and eye movement during users browsing. And Interaction analysis is analysing to quantitative data about users' interaction.

I developed a new usability evaluation environment WebTracer for doing interaction analysis using quantitative data for each web pages. WebTracer can collect quantitative data for each web pages by browser function embedded. VTR which recorded quantitative data has problems that resolution is low and an amount of data is huge. The size of the operation screen taken by WebTracer using delay capture format was from 1/10 to 1/20 of the size of data recorded by an MPEG-2

* Doctoral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0461023, February 9, 2007.

and MPEG-4 format. Delay capture format is new format for recording high resolution screen using the feature of a Web application. WebTracer has a detectable possibility to usability problems from a web page by replaying integrated quantitative data.

Next, I applied the discriminant analysis for finding an effective quantitative data which is detectable to low usability pages from recorded quantitative data. As a result of discriminant analysis, on the low usability pages which subjects evaluated, I found that the moving speed of the gazing point was high. Moreover, low usability pages, 94.4% ($17\text{page views} / 18\text{page views} = \text{detectable page views} / \text{low usability page views}$) were detectable with the moving speed of gazing points and the amount of wheel rolling of a mouse. In the detected pages, subjects are looking for a link title to objective information. This detection reduced the number of web pages which should be evaluated by half ($46\% = 89 \text{ pages views} / 192 \text{ pages views} = \text{detected pages} / \text{all pages}$).

Keywords:

Eye Information, Gazing Point, Usability, Evaluation, Human Computer Interaction

関連発表論文

第4章に関連する発表論文

学術論文誌

1. Noboru Nakamichi, Makoto Sakai, Jian Hu, Kazuyuki Shima, Masahide Nakamura, and Ken-ichi Matsumoto, WebTracer: A New Web Usability Evaluation Environment Using Gazing Point Information, *Electronic Commerce Research and Applications*. (In Press, Available online 20 March 2006)
2. 阪井 誠, 中道 上, 島 和之, 中村 匡秀, 松本 健一, Webtracer: 視線を利用した Web ユーザビリティ評価環境, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.11, pp.2575–2586, November 2003.

国際会議

1. Noboru Nakamichi, Makoto Sakai, Jian Hu, Kazuyuki Shima, Masahide Nakamura, and Ken-ichi Matsumoto, Webtracer: Evaluating Web Usability with Browsing History and Eye Movement, In *Proc. 10th International Conference on Human - Computer Interaction (HCI International 2003)*, No.1, pp.813–817, June 2003. Crete, Greece.
2. Makoto Sakai, Noboru Nakamichi, Jian Hu, Kazuyuki Shima, and Masahide Nakamura, and Ken-ichi Matsumoto, Webtracer: A New Integrated Environment for Web Usability Testing, In *Proc. 10th International Conference on Human - Computer Interaction (HCI International 2003)*, Adjunct Proceeding, pp.289–290, June 2003. Crete, Greece.
3. Noboru Nakamichi, Makoto Sakai, Jian Hu, Kazuyuki Shima, and Masahide Nakamura, Development and Evaluation of A Usability Evaluation Tool:

Webtracer, In *Proc. International Symposium on Empirical Software Engineering (ISESE2002)*, Vol.2, pp.27–28, October 2002. Nara, Japan.

研究会・シンポジウム

1. 阪井誠, 中道上, 島和之, 松本健一, WebTracer:視線を利用した Web ユーザビリティ評価環境, ソフトウェアシンポジウム 2003, pp.139–148, ソフトウェア技術者協会, July 2003.

第 5 章に関連する発表論文

学術論文誌

1. 中道 上, 阪井 誠, 島 和之, 松本 健一, ユーザの振る舞いによる Web ユーザビリティの低いページの検出, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.31–40, February 2006.

国際会議

1. Noboru Nakamichi, Makoto Sakai, Kazuyuki Shima, and Ken-ichi Matsumoto, Detecting Low Usability Web Pages Using Quantitative Data of Users' Behavior, In *Proc. 28th International Conference on Software Engineering (ICSE'2006)*, pp.569–576, May 2006. Shanghai, China.

研究会・シンポジウム

1. 中道 上, 阪井 誠, 島 和之, 松本 健一, 視線情報を用いた Web ユーザビリティ評価の実験的検討, 情報処理学会研究報告, ソフトウェア工学, Vol.143, pp.1–8, July 2003.

その他の発表論文

国際会議

1. Shota Fukushima, Noboru Nakamichi, Makoto Sakai, Jian Hu, Kazuyuki Shima, and Ken-ichi Matsumoto, ICORrelation between the Gazing Point Movement and Usability for the Purpose of Web Page Selection Containing Usability Problems, In *Proc. 11th International Conference on Human - Computer Interaction (HCI International 2005)*, CD-ROM, July 2005. Las Vegas, USA.

研究会・シンポジウム

1. 浜田 美奈子, 玉田 春昭, 中道 上, 武村 泰宏, 大平 雅雄, マイク バーカー, プログラミング実習時の学習者の感情に着目した自発性測定手法の検討, 電子情報通信学会 技術研究報告 教育工学研究会, ET2005-32, pp.29-34, September 2005.
2. 浜田 美奈子, 玉田 春昭, 中道 上, 武村 泰宏, マイク バーカー, プログラミング実習における自発性測定のための感情と自発性の関連分析, 日本教育情報学会 第 21 回年会論文集, pp.192-195, August 2005.
3. 上野 秀剛, 中道 上, 井垣 宏, 門田 暁人, 中村 匡秀, 松本 健一, プログラムの視線を用いたレビュープロセスの分析, 信学技報 SS2005 12-17, Vol.105, No.128, pp.21-26, June 2005.
4. 福嶋 祥太, 中道 上, 岡田 保紀, 大平 雅雄, 阪井 誠, 島 和之, 松本健一, Web ページ閲覧時の印象評価のための脳波計測実験, 第 46 回人間工学会大会, CD-ROM, June 2005.
5. 戸田 航史, 中道 上, 島 和之, 大平 雅雄, 阪井 誠, 松本 健一, Web ページ閲覧者の視線に基づいた情報探索モデルの提案, 情報処理学会研究報告, HI 研究会, Vol.2005-HI-113, No.52, pp.35-42, May 2005.

6. 栗山 進, 中道 上, 阪井 誠, 島 和之, 松本 健一, Web 閲覧者の視線情報と Web ユーザビリティの相関関係, ソフトウェアシンポジウム 2004, pp.32-35, ソフトウェア技術者協会, June 2004.
7. 中道 上, 胡 建, 趙 家敏, 島 和之, 武村 康宏, 松本 健一, Web ページデザインに対する印象の日中比較, 情報処理学会研究報告, ソフトウェア工学, Vol.138-2, pp.3-10, July 2002.

目次

第1章	はじめに	1
第2章	Web ユーザビリティ	4
2.1.	ユーザビリティの定義	4
2.2.	Web ユーザビリティに関する問題	6
2.3.	Web ユーザビリティ評価	7
第3章	インタラクション分析	10
3.1.	定量的データの記録方法	10
3.2.	定量的データを利用したインタラクション分析	11
第4章	Web ユーザビリティ評価支援環境 WebTracer	14
4.1.	従来の定量的データ記録方式	14
4.2.	遅延キャプチャ方式と WebTracer	17
4.2.1	遅延キャプチャ方式	18
4.2.2	WebTracer	21
4.2.3	従来研究との比較	24
4.3.	評価実験	27
4.4.	ケーススタディ	30
4.5.	考察	34
4.5.1	遅延キャプチャ方式の優位性	34
4.5.2	データ収集・集計作業の削減	35
4.5.3	視線計測を用いた Web ユーザビリティ評価の可能性	37
4.6.	まとめ	38

第 5 章	定量的データによる Web ユーザビリティの低いページの検出	40
5.1.	定量的データを利用した判別分析	41
5.1.1	分析対象となる定量的データ	41
5.1.2	判別分析	43
5.2.	定量的データの記録実験	43
5.2.1	定量的データおよびユーザ評価の収集	44
5.2.2	被験者とタスク	45
5.2.3	実験手順	45
5.2.4	実験結果	46
5.3.	定量的データによる判別分析の適用	47
5.3.1	「使いにくいグループ」と「その他のグループ」における 定量的データの平均値の差の検定	47
5.3.2	「使いにくいグループ」の判別分析	50
5.3.3	注視点移動速度とホイール回転量による検出	50
5.4.	考察	55
5.4.1	定量的データの個人差	55
5.4.2	一般化可能性の検証	56
5.4.3	訪問回数と階層の深さによる検証	61
5.4.4	多変量判別分析による検出力の向上	63
5.5.	まとめ	68
第 6 章	おわりに	70
	謝辞	72
	参考文献	75

目次

2.1	Web ユーザビリティ問題の具体例	8
4.1	動画圧縮方式	16
4.2	遅延キャプチャ方式	18
4.3	実行環境	20
4.4	WebTracer による記録ログ	22
4.5	再生画面	23
4.6	集計分析機能	25
4.7	視線計測装置を用いた評価実験の様子	28
4.8	Web ページごとの注視点移動距離と注視点移動速度	30
4.9	従来のデータ収集・集計作業との比較	36
5.1	被験者にとって使いにくいグループとその他のグループの箱ヒゲ図	49
5.2	被験者にとって使いにくいグループとその他のグループの散布図 .	53
5.3	注視点移動速度による判別結果とホイール回転量による判別結果 の関係	54
5.4	滞在時間における被験者の個人差の箱ヒゲ図	57
5.5	マウス移動距離における被験者の個人差の箱ヒゲ図	57
5.6	マウス移動速度における被験者の個人差の箱ヒゲ図	58
5.7	ホイール回転量における被験者の個人差の箱ヒゲ図	58
5.8	注視点移動距離における被験者の個人差の箱ヒゲ図	59
5.9	注視点移動速度における被験者の個人差の箱ヒゲ図	59

表 目 次

4.1	従来研究との比較	26
4.2	評価実験結果	29
4.3	被験者 A のコメント数	32
4.4	被験者 B のコメント数	32
4.5	被験者 C のコメント数	32
4.6	WebTracer を用いた評価と他の評価手法の比較	33
5.1	定量的データごとの使いにくいグループとその他のグループの平均値の差の検定結果	48
5.2	定量的データごとの判別関数	51
5.3	定量的データごとの判別分析結果	52
5.4	Leave-one-out cross validation 法によるリサンプリング結果	60
5.5	注視点移動速度による判別関数の適用結果	60
5.6	使いにくいグループとその他のグループの訪問回数の平均値の差の検定結果	62
5.7	使いにくいグループとその他のグループの階層の平均値の差の検定結果	64
5.8	多変量判別関数	66
5.9	多変量判別関数による判別分析結果	67

第1章 はじめに

近年、インターネットの普及にともない、Web サイトは増加を続けており、2006年10月末には世界のWeb サイト数は1億サイトを越えたと報告されている [34]。我が国においても、2001年1月に「e-Japan 戦略」を決定して以来、本格的にIT 基盤の整備に取り組み、インターネットは普及しつつある。現在はIT 利活用の段階に入っており、Web サイトが提供する様々な情報やサービスを活用することが我々の生活を豊かにするために必要不可欠なものとなりつつある。そのため Web ユーザビリティに対する関心が高まってきており [41]、Web サイト開発者はユーザビリティ（使いやすさ）に考慮した Web サイトを構築することがこれまで以上に求められている。このように使いやすい Web サイトを構築することは必須であるが、そのためにユーザビリティ問題を見つけるユーザビリティ評価を行う必要がある [28]。

代表的なユーザビリティ評価の手法の一つとしてユーザビリティテストングが挙げられる [3]。ユーザビリティテストングは、評価対象をユーザに実際に操作してもらうことで評価する方法であり、ユーザトラブルを引き起こす重大な問題点や評価者には思いもよらない問題点を発見しやすいため、広く行われている [23, 35]。しかし、発話データや VTR などのユーザのインタラクションを記録したデータは非常に膨大な量となるため、知識と経験を持った評価者がその分析に多くの時間を労力を費やしている。評価作業の効率化、客観的な評価の実現を目的として、Web ページ閲覧中のユーザインタラクションの定量的データを利用した評価支援手法が提案されている。ここでの定量的データとは、滞在時間、マウスや視線の動きなど、Web ページ閲覧中のユーザのインタラクションを定量的に記録したデータを指す。これまで定量的データを利用した評価支援手法が数多く研究されているが、それらの多くは1種類の定量的データを用いて Web ページが

ら Web ユーザビリティ問題を見つけることを支援している。しかし，評価者はユーザが閲覧した多くの Web ページを全て評価する必要がある。本論文では，評価者による Web ページ内の分析を必要とする Web ページ数を削減するため，定量的データを利用して Web ユーザビリティの低いページを検出できるかインタラクション分析を行った。ここでユーザ自身が主観的に使いにくいと評価したページを Web ユーザビリティの低いページとする。また，インタラクションに関する定量的データを分析することをインタラクション分析とする。

Web ページ単位での定量的データのインタラクション分析を行うため，定量的データを記録し，Web ページ単位での集計が可能なユーザビリティ評価支援環境 WebTracer を開発した。WebTracer では，ブラウザ機能を組み込むことによって定量的データを Web ページ単位に集計することを可能にした。また，従来の定量的データを記録した VTR では，解像度が低い，データ量が膨大といった問題もあったが，遅延キャプチャ方式によって既存のビデオ圧縮方式である MPEG-2 や MPEG-4 に比べて 1/10 から 1/20 のデータサイズで Web 操作画面を記録できる。遅延キャプチャ方式とは，Web アプリケーションの表示の特徴を用いて，高解像度の画面を比較的小さな記録データ量で時系列に記録・再現する方式である。記録した定量的データを統合して再生することによって，Web ページから Web ユーザビリティ問題の検出を支援できる可能性がある。

これらの Web ページ単位の定量的データには，専門的な知識を必要とせずに Web ユーザビリティの低いページを検出できる可能性がある。これまで Web ユーザビリティの評価に用いられてきた滞在時間，マウスや視線の動きといった定量的データは何らかのユーザビリティの特性と関係していると考えられる。これらを用いて Web ユーザビリティの低いページを検出できれば，評価者による Web ページ内の分析を必要とする Web ページ数を削減することが可能になる。しかし，これらの定量的データのうち，どのような定量的データがユーザにとって使いにくい Web ページの検出に有効で，どの程度の検出力があるかは明らかになっていなかった。

記録した定量的データのうち，Web ユーザビリティの低いページの検出に有効な定量的データを明らかにするため，複数の Web サイトに対してユーザビリ

ティテストを実施し，Web ページ閲覧中のユーザの定量的データを記録した．10名の被験者から記録した Web ページ 192PageView を被験者自身による主観的なユーザビリティ評価に基づき「使いにくいグループ」18PageView と「その他のグループ」174PageView に分類した．平均値の差の検定を行ったところ，注視点移動距離と注視点移動速度に有意な差が見られ，ユーザにとって使いにくいページではユーザの注視点移動距離は長くなり，注視点移動速度は高くなることがわかった．また「使いにくいグループ」と「その他のグループ」の判別分析を行ったところ，注視点移動速度が被験者自身が主観的に使いにくいと評価した Web ページを検出するのに有効であることがわかった．これらの結果から注視点移動速度が最も Web ユーザビリティの低いページの検出に有効な定量的データであることがわかった．さらにマウスのホイール回転量も利用することにより，Web ユーザビリティの低いページ 18PageView のうち 17PageView を検出することが可能となった．これらの検出された Web ページでは，ユーザは目的の情報につながるリンクが見つからず迷っている状況にあるため，使いにくいと評価しており，このような状況ではユーザは注視点移動速度が高くなり，頻繁にホイールを利用することがわかった．そして，評価者による Web ページ内の分析を必要とする Web ページを 192PageView から 89PageView の約 1/2 に削減することが可能となった．

本論文では，評価者による分析を必要とする Web ページを削減するため，定量的データを利用してユーザにとって使いにくい Web ページを検出できるかインタラクション分析を行った．本論文の構成は以下の通りである．続く第 2 章では，Web ユーザビリティ評価の現状と課題について述べる．第 3 章では，評価作業の効率化を目的として定量的データを利用した評価支援手法について述べる．第 4 章において，Web ページ単位での集計が可能なユーザビリティ評価支援環境「WebTracer」について述べる．まず，従来の定量的データの記録方式の問題点について述べ，それに対する解決方法として遅延キャプチャ方式を提案する．第 5 章では，実際にユーザビリティテストを実施し，記録した定量的データを利用して Web ユーザビリティの低いページを判別分析した結果を示す．最後に第 6 章では全体のまとめと今後の課題について述べ本論文を結ぶ．

第2章 Webユーザビリティ

本章では、まず Web ユーザビリティの様々な定義について述べる。次に Web ユーザビリティを低下させる原因となる Web ユーザビリティに関する問題について具体例を挙げて説明する。そのような問題を発見するために行われている Web ユーザビリティ評価の手法と課題について述べる。

2.1. ユーザビリティの定義

Web ユーザビリティ[30] は Web そのものの使いやすさと紹介されており、Web ページあるいはその集合である Web サイトをユーザが使う対象の 1 つとしてとらえた使いやすさである。本節では、Web に限らないユーザビリティの定義について述べる。おもに利用されているユーザビリティの定義として、Jakob Nielsen による定義と ISO9241-11 における定義が挙げられる。

Jakob Nielsen の定義 [30] ではユーザビリティは、5 つのユーザビリティ特性からなる多角的な構成要素をもっている。

学習しやすさ：システムは、ユーザがそれをすぐ使い始められるよう、簡単に学習できるようにしなければならない

効率性：一度学習すれば、あとは高い生産性を上げられるよう、効率的に使用できるものでなければならない

記憶しやすさ：ユーザがしばらくつかわなくても、また使うときにすぐ使えるよう覚えやすくしなければならない

エラー：エラーの発生率を低くし、エラーが起こっても回復できるようにし、かつ致命的なエラーは起こってはならない

主観的満足度：ユーザが個人的に満足できるよう，また好きになるよう，楽しく利用できなければならない

次に ISO9241-11 は，画像表示端末 (VDT) を使用したオフィスワークに適用される国際規格であり，ユーザビリティは，特定の利用状況において，特定のユーザーによって，ある製品が，指定された目標を達成するために用いられる際の，有効さ，効率，ユーザーの満足度の度合いと定義されており，その構成要素として下記の 4 つが定義されている．

Effectiveness (有効さ): ユーザが指定された目標を達成する上での正確さ，完全性

Efficiency (効率): ユーザが目標を達成する際に，正確さと完全性に費やした資源

Satisfaction (満足度): 製品を使用する際の，不快感のなさ，及び肯定的な態度

Context of use (利用状況): ユーザ，仕事，装置 (ハードウェア，ソフトウェア及び資材)，並びに製品が使用される物理的及び社会的環境

このようにユーザビリティには，様々な定義があるが，Web ユーザビリティの定義としては，Jakob Nielsen が Web ユーザビリティの代表的な研究者であることから，Jakob Nielsen の定義が利用されることが多い．ISO9241-11 のユーザビリティの定義は，ISO13407[24] のコンピュータを応用したインタラクティブシステムに対する人間中心設計活動の指針といった規格においても用いられ，国内でも JIS Z8530 として指針として利用されており，ユーザビリティに関する現在の標準的定義である．

本論文では，Jakob Nielsen の定義と ISO9241-11 にともにユーザビリティの構成要素として挙げられているユーザの主観的満足度を対象にする．通常の製品の場合，使い始めて主観的満足度が低くなったとしてもユーザは使い続ける．しかし，Web サイトの場合は主観的満足度が低ければすぐに他の Web サイトに移ってしまう．そのため，Web サイトでは主観的満足度を低下させないように設計，評価する必要がある．

2.2. Web ユーザビリティに関する問題

Web ユーザビリティに関する問題とは Web ユーザビリティを低下させる原因となる問題である。以降、Web ユーザビリティに関する問題を Web ユーザビリティ問題と呼ぶ。Jakob Nielsen はウェブ・ユーザビリティ[29]の中で Web ページにおけるユーザビリティに関する 20 の問題点を指摘している。これらの Web ユーザビリティ問題はページタイトル、レイアウト、リンク、内容、文字、ページ表示に分類される。

1. ページタイトルのネーミングが悪い
2. 1 つ前のページ No の Web ページとレイアウトが異なる
3. 前のページとの違いがわからない
4. レイアウトが悪い (メニュー、内容、画像)
5. ページの縦幅が適切でない
6. ページの横幅が適切でない
7. 余白の大きさが適切でない
8. リンクが多い
9. リンクテキストからリンク先の内容が予想できない、わからない
10. リンク色が悪い
11. リンクされているテキストがわかりにくい
12. リンクされている画像がわかりにくい
13. 文字が多い
14. 画像が多い
15. 画像が大きすぎる

16. 1文が長い
17. 文が短すぎて説明が不十分である
18. 文字の大きさが適切でない
19. 文字が見にくい（配色，フォントの種類，装飾，バランス）
20. 表示されるまでに時間がかかる

例えば，図 2.1 に示したような Web ページの場合，リンクにアンダーバーがないため，リンクされているテキストがわからないという問題を引き起こしている．また，縦メニューと横メニューがあるため，メニューが悪いという問題があり，ユーザを迷わせる一因となる．

2.3. Web ユーザビリティ評価

Web ユーザビリティ評価 [29, 30] とは，Web サイトおよび Web ページのユーザビリティを向上させることを目的として，それらに含まれる Web ユーザビリティ問題の原因となる箇所を見つけ出すことである．Web ユーザビリティ評価の代表的な方法としてユーザビリティインスペクションとユーザビリティテストが挙げられる [35]．ユーザビリティインスペクションは，チェックリスト等を用いて評価者が画面の問題点を指摘するものである．ユーザビリティインスペクションは実際に操作しないので特別な環境を必要とせず，一般的な問題の指摘は容易である反面，アプリケーション固有の問題は指摘が困難である．

ユーザビリティテストは，実際のユーザがシステムとどのようにインタラクションを行うかを調べる手法である [3, 7]．評価対象をユーザに操作してもらうことで，ユーザトラブルを引き起こす重大な問題点や，システムの操作に精通した評価者には思いもよらない問題点を発見しやすいという特長があり，広く利用されている．ユーザビリティテストで主に用いられる手法として，パフォーマンス測定，発話分析法，ユーザビリティラボにおける観察があり，おも

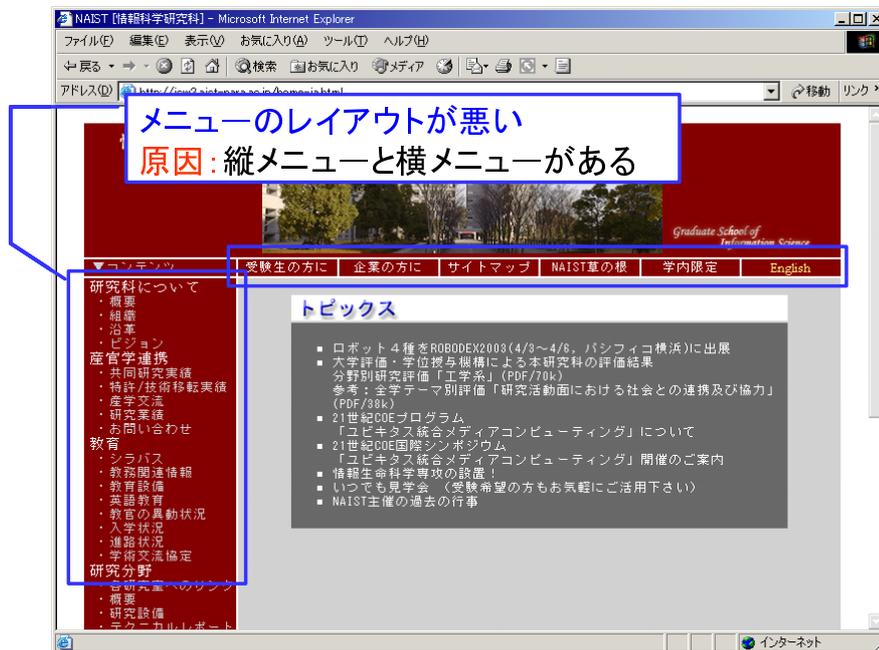
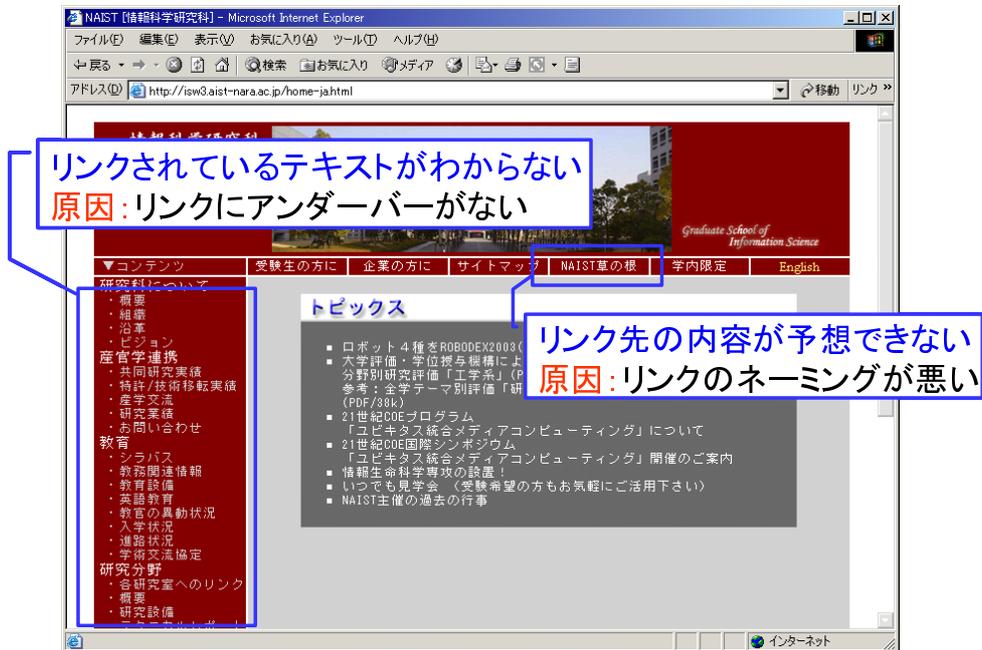


図 2.1 Web ユーザビリティ問題の具体例

に発話分析法やユーザビリティラボにおける観察が Web ユーザビリティ評価では利用されている。

パフォーマンス測定は、ユーザが操作した際の時間計測、エラー数などの事象を計測し、それらのデータから作業速度、エラー率から評価を行う。おもに複数の評価対象からどちらがより正確に入力できるかといった順位データから比較するために利用されている。しかし、問題の指摘が困難であることから Web ユーザビリティ評価ではあまり用いられていない。

発話分析法 [5, 19] は、ユーザの操作を中断しつつコメントを得て評価者が分析する方法である。また、マイクから録音した発話データを評価者が分析する場合もある。発話分析法では、評価者に専門的な知識が求められ、データ解析の工数が大きい。また、無意識的な部分がすべて発話されるわけではないなどの問題が指摘されている [20, 21]。

ユーザビリティラボとはユーザビリティ評価を行うテスト環境である。一般的に、テストを実施する空間（テストングルーム）とそれを観察する空間（モニタールーム）から構成される一対の部屋である。典型的には、その間の壁はハーフミラーで仕切られており、テストの様子をモニタールームから観察することができる。また、参加者のインタラクションを記録するための AV 機器が設置されており、データとして記録できるようになっている。ユーザビリティラボにおける観察は幅広い評価ができ、具体的な問題が指摘可能である。しかし、評価者に専門的な知識が求められ、ユーザの VTR などの記録データを解析するのに時間がかかる。

おもに Web ユーザビリティ評価で利用されている発話分析法やユーザビリティラボにおける観察では、ユーザが閲覧した多くの Web ページから問題を見つけるため、知識と経験を持った評価者が多くの時間と労力を費やしている。そのため評価作業の効率化、客観的な評価が大きな課題となっている。

第3章 インタラクション分析

Web ユーザビリティ評価における作業の効率化，客観的な評価の実現を目的として，Web ページ閲覧時のユーザの定量的データを記録し，それらに対してインタラクション分析を行った結果を利用した評価作業の支援が提案されている．ここでユーザのインタラクションに関する定量的データを分析することをインタラクション分析とする．本章では，まずインタラクション分析のために記録される定量的データの種類と記録方法について述べる．次に定量的データがどのようにインタラクション分析されているか述べる．

3.1. 定量的データの記録方法

ユーザのインタラクションをより詳細に調べるため，近年様々なツールが提案されており，様々な定量的データを記録することが可能となりつつある．しかし，定量的データに基づく Web ユーザビリティ評価は対象とする個々の問題点ごとに 1 種類の定量的データを用いて研究されてきた．単一 Web ページ上での注視点情報とレイアウト構造の統計的な分析，Java スクリプトによる Web ページ操作イベントの記録の分析，Web サーバのアクセス記録の分析など，特定の操作情報を用いて評価が行われてきた．

Schroeder は画面上の見ている位置である注視点情報をもとに，ページ内のレイアウト構造と参照回数との関係を分析した [43]．Schroeder は Web ページを上部のボタンバー，上部の検索エンジン，左側，中央，右側，下側に分け，ユーザがどの部分により多く注目するかを分析している．Web ページ上の詳細な構造の分析ではなく，低い解像度でも判別可能なサイズを持つ構造の分析に注視点データを利用している．

Paganelli は Java スクリプトによりユーザの操作イベントからタスクの実行状況を分析した [38] . Paganelli は Java スクリプトにより得たユーザの操作イベントを元に , ページ参照時間 , タスクの作業時間などの定量的なデータに基づく分析を支援している . Web ページ毎に作業時間を集計することで Web ページのユーザビリティを分析している .

Web サーバのアクセス記録を利用して Web ページの構造を評価した研究もある . Etgan[4] は , WET(Web Event-logging Tool) と呼ばれる評価環境を用いて , 与えたタスクのベンチマークとユーザの満足度の関係を調査した . Web サーバのイベントログには限界があるものの , ユーザビリティの評価に有効であることを示している . Hochheiser[10] は , Web ページごとの参照回数を時系列やクライアントホストなどで 2 次元にビジュアル化するツールであり , Web サイトの構造を分析できる . これらは , Web ページ構造に関するデータを収集して分析することで , Web 構造に関するユーザビリティを評価している .

これらの研究は , 大量に存在する定量的データの中から , 対象とした Web アプリケーション操作の情報のみ収集し , ユーザビリティの分析を行っている . ユーザビリティを様々な角度から分析してより良い Web アプリケーションを開発するには , 様々な定量的データを統合して記録可能な環境が望ましい . しかし , 従来は , (1) 高い解像度の画面を効率よく記録できない , (2) 実行時の Web ページの情報とユーザの定量的データを統合して再生・分析することができない , (3) 様々な定量的データを元に Web ページのユーザビリティを評価することが困難 , といった問題があった .

3.2. 定量的データを利用したインタラクション分析

本節では , 客観的にユーザビリティを評価するために定量的データ (操作に要する時間 , マウスの動き , 視線の動き) を利用しているインタラクション分析手法について述べる .

池本 [14] の手法では , 操作に要する時間はユーザが次の操作を考えたり , 画面上で操作対象部品を探したりしていた時間と考えられ , 時間が長い場合には , 操

作がユーザにとって分かりにくく悩んでいた，画面レイアウトが複雑なため次の操作部品を探すのに時間がかかったなどの問題がある可能性があるとして報告されている．このように操作時間間隔では，使いにくい箇所を検出できる可能性が示されているが，マウスの動きや視線の動きといった定量データとの比較が行われていない．

岡田らが開発した GUI テスタ [36] では，複数ユーザ分の操作履歴に共通して出現する操作パターンを抽出することで，誰でも操作を間違えてしまう箇所などを発見可能である．そして，抽出された操作パターンに含まれる個々の操作について，マウス距離や操作時間間隔の値の大きい操作は，画面レイアウトの不適切さの可能性を示唆している．Arroyo ら [1] は，マウスの動きをスクロール，読み，停止，メニュー，ランダムに分類し，これらの分類に基づいた分析を行うことで問題の箇所を指摘できる可能性があることを示唆している．また，Mon-Chu Chen [2] らは，Web 閲覧時のマウスカーソルの位置と視線の関連について調べ，強い相関があり，マウスカーソルを利用することにより，ユーザの興味がある箇所を予測，ユーザの意図を推論できる可能性があるとして報告されている．しかし，マウスの動きを計測することで，使いにくい箇所を検出できるかどうかは確かめられていない．

森ら [26] は情報システム開発における画面設計によるプロトタイピングの有用性をさらに向上させる方法として，ヒューマンインタフェースに注目し，眼球運動を分析して，プロトタイプ画面を修正する試みを行った．そして実験の結果，注視点の軌跡の動きが交差や逆戻りする部分を修正することによって，画面処理の操作スピードと使いやすさ満足度が向上することを明らかにした．Josephson ら [40] は，視線の軌跡を利用し，その軌跡のパターンから Web ページのデザインの問題点を指摘できる可能性があることを示している．また，Web ページ閲覧時の視線の特徴を調べた実験結果として，左上から見る [31]，写真よりもテキスト情報に注目する [46]，困難を感じる箇所で読む速度を落としたり戻って読み返したりする [16, 17] などが報告されている．一般的なユーザがウェブページを閲覧したときに描いた視線の軌跡は，サイトの内容やタスクには関係なく，一貫してアルファベットの“ F ”を描くような軌跡であったと報告している [31] 羽瀧

ら [8, 9] は, Web ページの閲覧行動特性におよぼす要因を解明するために, Web ページの材料特性である, 色や大きさ, レイアウトなどのシンタクスに注目して分析する方法と, 使用されている単語の意味や機能などのセマンティクスに注目して分析する方法との特徴を比較し, その相補的分析の重要性を視線計測実験の結果から提案している. 近年, 視線計測装置の低価格化にともない, 視線の動きを利用したインタラクション分析が多く行われているが, マウスの動きとの関連, 有効性の比較は行われていない.

このように従来の研究においては, ある特定の定量的データのみを用いて評価者が判断し, 問題があると思われる部分を見つけだす方法であった. そのため, 定量的データの有効性の比較や, ユーザビリティの低い対象を単純な基準で判別するものではなかった. また, ユーザビリティの評価者は, ユーザが閲覧した全ての Web ページにおいてユーザインタラクションを分析する必要があるため, インタラクションを分析するための作業の効率については十分に支援されているとは言いがたい.

そこで, 本研究では定量的データを利用して, ユーザビリティの評価者が詳細に分析しなければいけない Web ページを効率的に検出するため, ユーザにとって使いにくい Web ページの判別分析を行った. これによりユーザビリティの評価者が詳細に分析しなければいけない Web ページを削減することが可能になり, ユーザビリティテストにおける重要な課題の一つであるインタラクションを分析するための作業の効率化につながる. また評価時間が同じならば, 分析対象の Web ページを減らすことによって, ユーザビリティの評価者がより詳細な分析に時間をかけることが可能となる.

第4章 Webユーザビリティ評価支援 環境 WebTracer

本章では定量的データを記録し，Web ページ単位での集計が可能な Web ユーザビリティ評価支援環境 WebTracer について述べる．WebTracer は Web サイトをブラウズする被験者の視線や操作といった定量的データを記録し，ビデオのように再生が可能なだけでなく，定量的データと様々な再生機能により分析を支援する環境である．従来の定量的データの記録環境では (1) 解像度が低い，(2) データ量が膨大，(3) Web ページ単位でのデータ集計が容易でなく分析が困難といった問題があったが，WebTracer はこれらを遅延キャプチャ方式とブラウザ機能の組み込みにより解決した．

評価実験の結果，WebTracer は高解像度の記録が可能で，既存のビデオ圧縮方式である MPEG-2 や MPEG-4 に比べ 1/10 から 1/20 のデータサイズで Web 操作画面を記録再生することができた．また，得られた定量的データからユーザビリティ評価を支援できる可能性のあることがわかった．

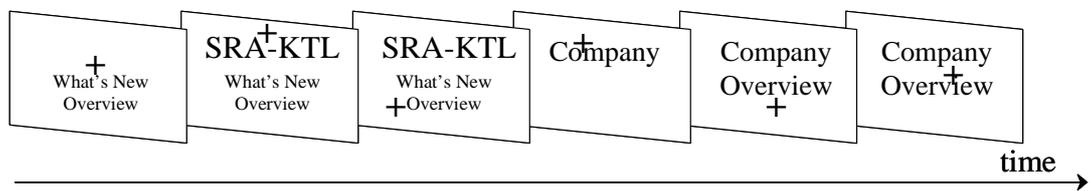
4.1. 従来の定量的データ記録方式

従来の定量的データの収集分析環境では，コンピュータ画面と視線 (注視点) やマウスの動きといった定量的データを記録するために，ビデオが用いられていた．実行時の画像を用いない方法としては，注視点データや操作履歴のみを記録しておき，分析時に再実行したアプリケーションの画面と合成する方法も考えられる．しかし，Web アプリケーションのように，実行時にネットワークから得られたデータと実行時のウィンドウサイズに基づいて表示データを構成する場合は，再実行時の表示が注視点を記録時の表示と異なる可能性がある．このため，実行時

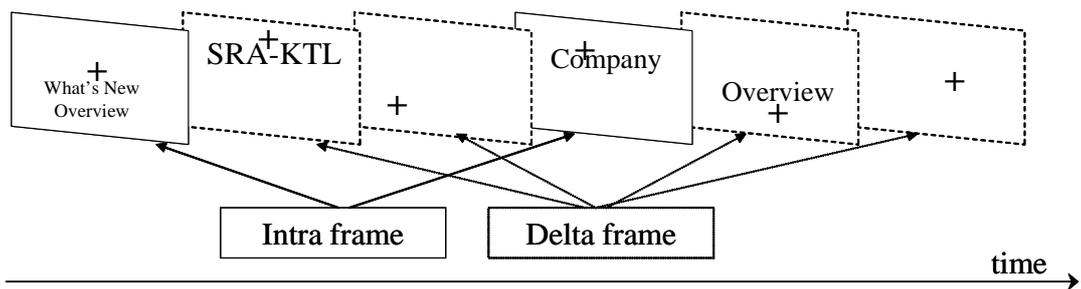
の画像を記録せずに操作履歴を分析することは困難である。そこで、コンピュータの画面を NTSC 方式などのビデオ信号に変換した上で、注視点を示す画像を重ね合わせて動画として記録する場合が多い。CAESE(Computer Aided Empirical Software Engineering) 環境 [44] では、ビデオ画像として視線データを記録するほか、得られた動画を計算機上で他の操作データと連動させることで操作履歴の分析を支援している。このように、画面の動画を注視点、キーボードやマウスなどの定量的データと連携させるには、動画を計算機上で扱えなければならない。エディタなどのキャラクタ・ユーザ・インタフェースのソフトウェアや画面構造の統計的な分析であれば、解像度を下げ、圧縮した動画を用いることで実用的な分析が可能であった。しかし、高解像度の動画を計算機で扱う場合は記録データ量が大きくなり、あまり実用的ではない。

動画の圧縮には多くの方式があるが、一般に図 4.1 に示すような構造を持っている [12, 48]。Web ページが図 4.1(a) の様に順次表示された場合の動画圧縮のイメージを図 4.1(b) に示している。圧縮された動画は、あるフレームを圧縮したフレーム内のデータのみで構成したイントラフレームと、フレーム間の圧縮データや補間データにより構成されるデルタフレームである。デルタフレームはデータ量が少ないが、デルタフレームのみでは画像が構成できないので、直前のイントラフレームとそれ以降のデルタフレームを元に画像を構成する必要がある。このため、実時間よりも高速なランダムアクセスが必要となる編集作業や、通信ノイズや記録媒体エラーによるデータ欠落の影響の低減には、求められるランダムアクセス性・耐エラー性に応じたイントラフレームが必要である。例えば、家庭用ビデオの記録に用いられている DV 形式は編集作業を考慮してイントラフレームのみで構成されており、放送や DVD に用いられている MPEG-2 形式 [45] ではエラーの影響を少なくするために、一般に毎秒 1 枚、より帯域の狭い通信に用いられる MPEG-4 形式 [25] では 8 秒に 1 枚程度のイントラフレームが挿入し、データ量とランダムアクセス性・耐エラー性とのバランスを取っている。

Web アプリケーションは、ユーザインタラクションにより Web ページ単位で順次表示する。Web ページに表示されているデータは変化が少ないので、デルタフレームで行われるフレーム間圧縮に向いていると考えられる。同一 Web ページ



(a) Actual web page and the viewpoint



(b) The general compressed video sequence

图 4.1 动画压缩方式

内での表示データは，マウスクリックやキーボード入力によって，表示情報のスクロールやメニューリストの表示などが変化するが，それ以外では基本的にページ単位に表示されるからである．表示が変化する特殊な例として flash やアニメテッド GIF などがある．これらが使われていない多くの Web ページでは，マウスを除いて表示が変化しない．このため，Web ページをイントラフレームに記録し，ページ内の変化情報をデルタフレームとすることができれば，効率的な動画圧縮が可能と考えられる．

しかし，実際の Web アプリケーションの画面を記録し，分析に用いた場合，従来の動画圧縮技術を用いると以下の問題がある．

1. 画面を高解像度に記録する環境がない NTSC 方式のビデオ信号では，走査線数である 525 ドット以上の垂直方向の解像度が原理的に得られない．
2. データ量が膨大になる Web ページはネットワークを介してサーバから表示データをダウンロードする．ページ切り替え時の表示開始からダウンロード完了までには，数～数十程度の複数フレームが必要であり，この間の表示内容の変化が大きく，効率的なデータ圧縮が困難である．
3. 任意の位置の操作情報を高速に得るには，イントラフレームをあまり減らせない定量的データを分析する際には，画面上に合成されたユーザ操作系列の中から注目する範囲を詳細に分析する必要がある．従来のビデオ圧縮方式で任意の位置の画像を短時間で検索するには，イントラフレームが一定の比率で存在する必要がある．

4.2. 遅延キャプチャ方式と WebTracer

本節では，WebTracer の特徴である遅延キャプチャ方式と WebTracer の機能について述べる．遅延キャプチャ方式は，Web アプリケーションの表示の特徴を用いて，高解像度の画面を，比較的小さな記録データ量で時系列に記録・再現する方式である．WebTracer は，この遅延キャプチャ方式で記録された画像を用いて，他の定量的データと統合された，記録・再生・分析を支援する環境である．

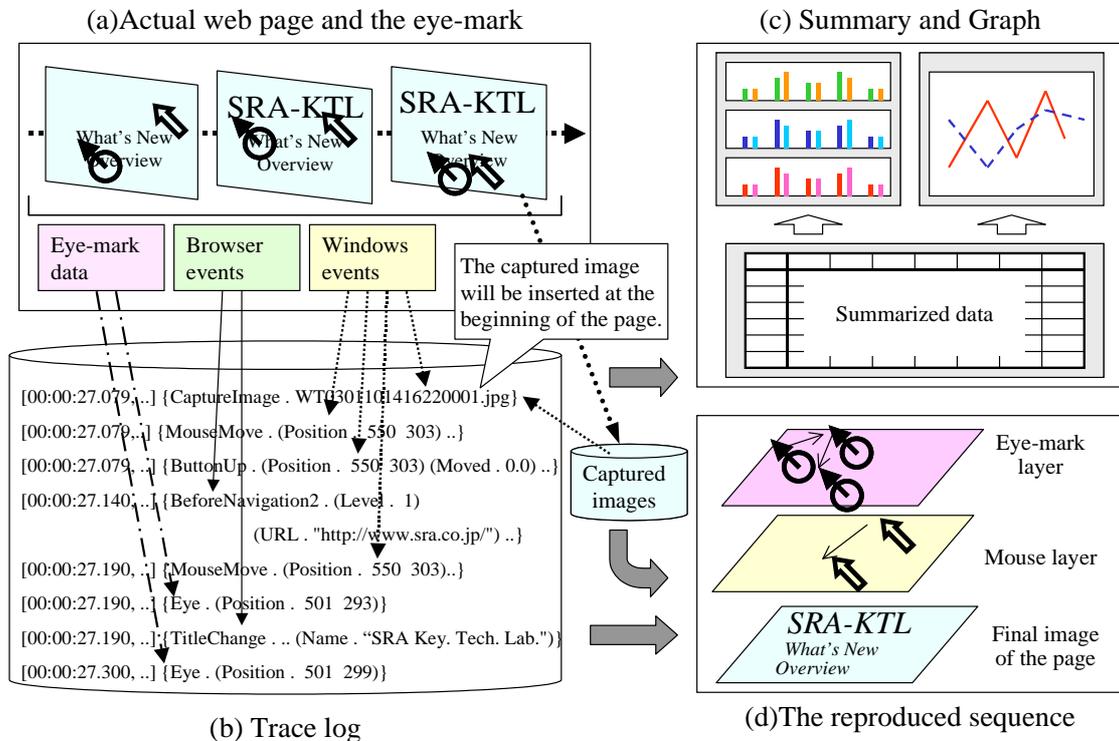


図 4.2 遅延キャプチャ方式

4.2.1 遅延キャプチャ方式

遅延キャプチャ方式は、次の Web ページに遷移する瞬間の画像が最も安定した状態の画面であることを利用し、遷移時にキャプチャした画像をそれまでの Web ページの画面として用いる方式である (図 4.2(a),(b),(d))。表示データのダウンロードの時間は、動画の 1 フレームの表示速度 (1/30 秒) と比較すると非常に大きな値である。しかし、近年のブロードバンドの普及によって、ユーザである人間にとってはほとんど無視できる時間になってきている。マウスやキーボードなど変化のある情報を除いて、各 Web ページの画面を 1 枚の画像で表現することは大きな問題ではない場合が多い。

Web ページの表示はネットワークからデータを順にダウンロードしつつ表示す

るので、表示の完了を確実に知ることは不可能である。そこで、遅延キャプチャ方式では、以下に示す手順で、画面をキャプチャする。

1. Web ページの表示を開始し、その時刻 T を記憶する。
2. ユーザの操作イベントを受け取る。
3. 画面表示が変化するイベントを受け取った場合、画面をキャプチャし、時刻 T からその時刻までの画像として保存する。

このように画面が変化する瞬間にキャプチャすることでダウンロードの完了を知る必要をなくしている。上記手順の画面表示が変化するイベントには、以下のものがある。

- 次の Web ページに遷移時のマウスのボタンクリック
- 表示内容の確定時のキーボードによる改行コードやタブコードの入力
- スクロール時のマウスのボタンクリックやホイール操作
- メニューリスト表示時のマウスボタンクリック

キャプチャにより得られた画像は表示データのダウンロード中の画像とは若干異なるが、画面のレイアウトの変化は比較的少なく、短時間であるので、直前のキャプチャの時点から次のキャプチャまでの画面として、視線やマウス操作などを重ね合わせて表示することで、あたかも実際の画面のように再現できる。

遅延キャプチャ方式は従来の一定時間ごとのイントラフレームとデルタフレームを用いる方法と異なり、各ページの画面と他のデータを合成して表示するので、高画質な画像を、少ないデータ量で記録でき、操作履歴など他の定量的データと統合した環境の構築が容易になる。

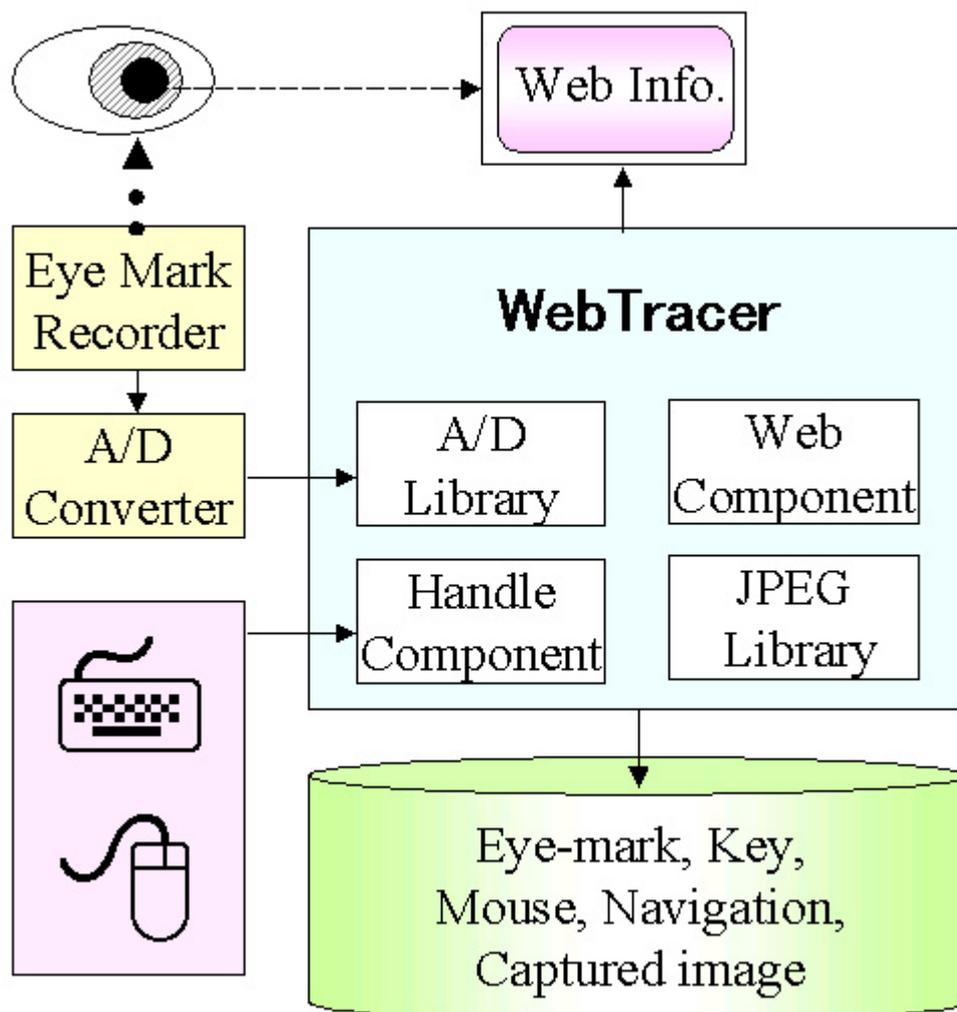


图 4.3 实行环境

4.2.2 WebTracer

WebTracer は、(1) 高い解像度の画面を記録できる、(2) Web ページの遷移情報など Web 特有のデータが記録できる、(3) 分析に必要な情報を統合して再生・分析することができる、Web ページ操作の記録分析環境である。

WebTracer は Visual Basic で開発された Windows アプリケーションである (図 4.3)。Web ページを表示する Microsoft 社製 Internet Explorer に付属する Web コンポーネント、注視点座標を入力する Contec 社製 A/D 変換ライブラリ、Windows イベントを取得するニャンコロ作 Handle コンポーネント、画像を JPEG 形式で保存する明熊工房製 JPEG 保存ライブラリ、を利用して開発されている。

WebTracer には、以下の 3 つの機能がある。

1. 定量的データの記録機能

Web ページ表示中に遅延キャプチャ方式で得られた画面データ、注視点、マウスやキーボードの操作、Web ページの表示イベントを記録する。WebTracer は遅延キャプチャ方式によりブラウザ画面をキャプチャし、JPEG ライブラリを用いて圧縮して保存する。また、その画像ファイルが利用される最初の時刻のデータとして図 4.2(b) の時系列のリストとして記録する。図 4.4 に示すとおり、発生時刻、シーケンス番号、日付からなるタイムスタンプとユーザ操作データ列から 1 行が構成され、各データは括弧により構造化して記録される。この時系列のリストには、JPEG ファイル名のほか、一定間隔で A/D ライブラリ経由で得た注視点の座標、Handle コンポーネントから得られたマウスやキーボードのイベント、Web コンポーネントのイベント、WebTracer への操作、が記録される。

2. 定量的データの再生機能

Web ページの画像と記録されたデータを統合して表示する。図 4.5(a) に示す様に Web ブラウザのインタラクションの再現時には、Web ページの画面上にマウス (矢印) と注視点 (丸矢印) の座標にアイコンを表示する。この際に Web ページの画像に注視点を円で示せるほか (図 4.5(b))、注視点とマウスの軌跡を表示することが可能である図 4.5(c)。また、マウスクリックとホ

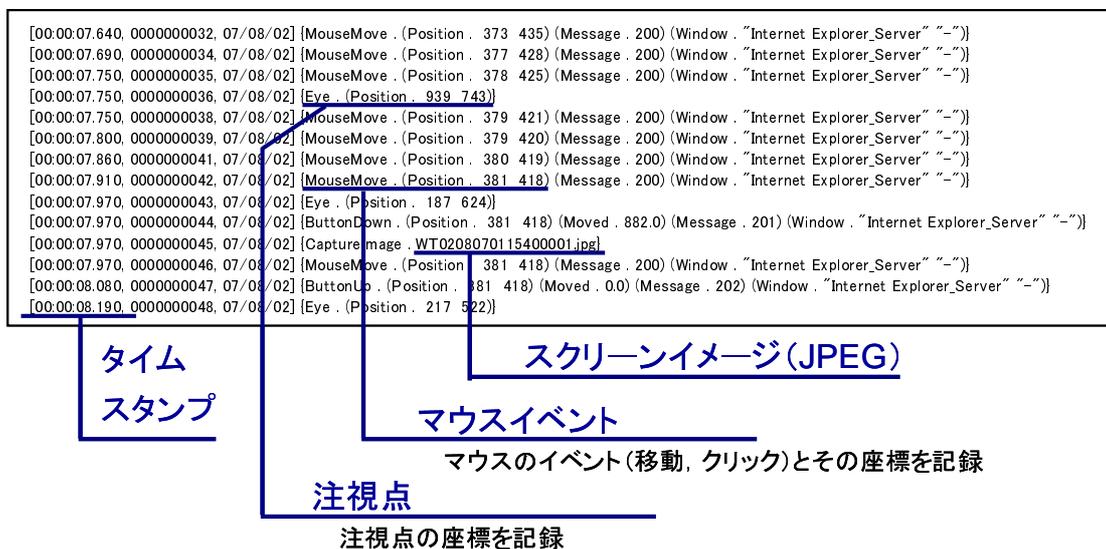


図 4.4 WebTracer による記録ログ

イール操作の記録は、画面上にアイコンでイベントの発生を表示する。図 4.5(a) 右下の再生コントロールダイアログでは、再生の制御が可能のほか、再生中の時刻に得られたイベントやキー入力されたデータが表示される。再生操作ボタンにより、通常の再生のほか、高速再生、高速逆再生、静止、スロー再生、ステップ再生、ページ移動が可能である。また、スライドコントロールを用いると任意の時刻に移動できる。このように様々な再生方法により、注目したい操作の系列を詳細に分析できる。

3. 定量的データの分析機能

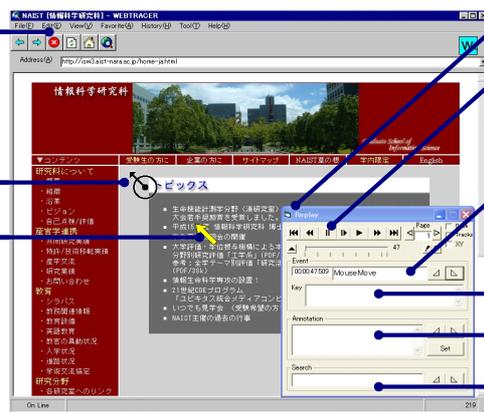
ユーザインタラクションの分析機能には、時系列分析機能と集計データ分析機能がある。時系列分析機能は、図 4.5(a) 右下の再生コントロールダイアログを用いる。様々な再生方法を用いて再現されたユーザのインタラクションの特徴的な場面を発見した際に注釈を記録しておき、(a) 注釈の記入されている時刻のみを正順あるいは逆順に表示する、(b) 時刻やイベントと同様に検索する、機能でユーザインタラクションの詳細な分析を支援す

ブラウズツールバー

記録時にブラウザと同様に「戻る」「進む」「中止」「更新」「ホーム」「検索」が可能

注視点

マウスカーソル



再生コントロールダイアログ

再生モード選択

「頭出し」「巻戻し」「一時停止」「スロー再生」「再生」「早送り」「コマ送り」といった再生モードを選択可能

イベント

時間に同期して注視点移動、マウスクリックなどのイベントを表示

キー入力表示

記録中に入力されたキーを表示

注釈の入力

再生中に気づいたユーザの感想などを注釈として記録可能

注釈の検索

記録した注釈から目的のキーワードを含む注釈を検索

(a) Normal mode



(b) Gaze mode

ユーザが注視した箇所を○で表示します。また、○はこのページではじめて見た位置の注視点を表しています。



(c) Tracks mode

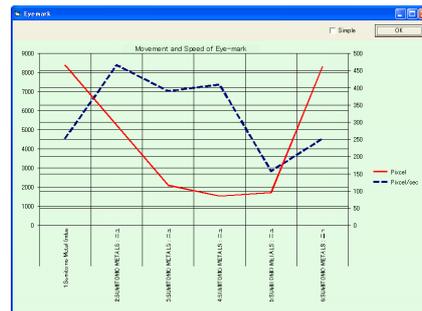
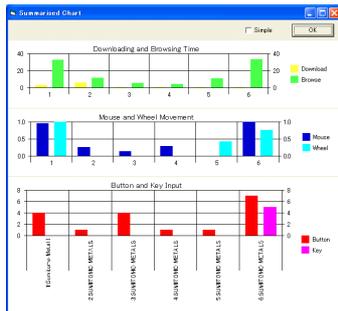
注視点の軌跡を細線で表示します。また、マウスカーソルの軌跡を太線で表示します。

図 4.5 再生画面

る．集計分析機能は Web ページごとに操作履歴の集計データを一覧表示することが可能である．図 4.6 で示す様に，Web ページごとの遷移理由 (お気に入りメニュー，リンク，キーなど)，データのダウンロード時間，操作時間，マウス移動量，スクロール数，クリック数，キー入力数，注視点の移動量 (ページ内の総移動ピクセル数) と速度 (ページ内の総移動量を操作時間で割ったもの) などの一覧が表示できるほか，グラフとしても表示可能である．これらを用いることで，各 Web ページの特徴の分析や，Web ページをどのように遷移したかを分析できる．

4.2.3 従来研究との比較

WebTracer と従来研究の比較を表 4.1 に示す．×は分析不可能，○は分析可能であることを表している．WebTracer は，従来の Web ユーザビリティ評価や MPEG-2/4 形式といったビデオによる分析のうち，Web ページ上の画像の変化を除いたほぼ全ての機能を包含しており，詳細な時系列分析と集計データ分析が可能である．ページ遷移履歴は，WET [4]，Hochheiser [10] が収集している．WebTracer と同様にページ遷移の履歴を時系列に分析可能であるが，Hochheiser [10] は，さらにページ構造に基いた分析を行うため，同一ページの参照回数を分析することが可能である．操作イベントは Paganelli [38] が収集しているが，WebTracer と比較して種類は少なく，ページ参照時間や作業時間が分析している．注視点情報は Schroeder [43]，MPEG-2 [45] および MPEG-4 [25] で分析可能である．Schroeder [43] は WebTracer と同様に注視点情報を集計して利用している．注視点の移動に関する分析はしていないが，領域ごとの参照回数を分析している．MPEG-2 [45] および MPEG-4 [25] は視線追跡装置の出力を記録することで画面の変化に対するユーザインタラクションや注視点の移動する様子を分析することが可能である．このように，WebTracer とは詳細な分析対象が異なるものの，従来は個々に研究されていた，注視点情報，ページ遷移情報，ユーザイベント，画面イメージを記録することが可能であり，ユーザが Web ページ操作を行った際のこれらを統合して分析することができる．また，将来的には従来の研究で行われていた分析



滞在時間などをグラフ表示

- (上) ダウンロード時間と滞在時間のグラフ
- (中) マウス移動距離とホイール回転量のグラフ
- (下) クリック数とキータイプ数のグラフ

注視点移動距離と速度の表示

- (赤) 注視点移動距離 (pixel)
- (緑) 注視点移動速度 (pixel/s)

No.	Name	URL	Level	Event	Start	Download	Idle	Mouse	Wheel	Button	Key	Eye	Speed
1	Yahoo! JAPAN Search	http://google.yahoo.co.jp/bin/c		Favorite	00:00:10.870	1,210	28,560	4,267.2	600	6	0	2,979	104
2	Sumitomo Metal Indus	http://www.sumitomometals.co		Link	00:00:39.430	4,340	14,390	523.2	0	1	0	1,907.2	1325
3	SUMITOMO METALS	http://www.sumitomometals.co		Link	00:00:53.820	1,100	15,440	1,322.7	0	1	0	1,695.2	1097
4	SUMITOMO METALS	http://www.sumitomometals.co		Link	00:01:09.260	0,360	14,440	580.3	0	3	0	1,309.8	907
5	SUMITOMO METALS	http://www.sumitomometals.co		Back	00:01:23.700	0,220	3,790	281.5	0	1	0	60.75	1339
6	SUMITOMO METALS	http://www.sumitomometals.co		Link	00:01:27.490	3,520	28,450	841.57	0	4	0	1,498	650
7	SUMITOMO METALS	http://www.sumitomometals.co		Link	00:01:55.040	0,440	10,450	451.97	0	2	0	200.21	1063



図 4.6 集計分析機能

表 4.1 従来研究との比較

	WebTracer	Schroeder[43]	WET[4] Hochheiser[10]	Paganelli[38]	MPEG-2[45] MPEG-4[25]
概要	操作注視点 ページ単位 で分析	領域単位で 参照回数を 分析	ページ参照 履歴を分析	ページ参照 時間作業時 間を分析	表示画面を 注視点と 共に記録
注視点情報			×	×	
ページ遷移履歴		×		×	×
操作イベント		×	×		×
画面イメージ		×	×	×	
画像の変化	×	×	×	×	
時系列分析		×			
集計データ分析					×
変更する環境	ブラウザ	なし	サーバ	サーバ	なし
特長	高解像度 サイズ データ集計	領域単位で 分析	ページ構造 に基づいた 集計	ブラウザの 変更が不要	動画像を 記録

を支援することも可能である。

しかし、WebTracer は、表示データをロードしている間の画面変化や Flash、アニメテッド GIF などによる動画の表示を行わないことで、記録データ量を小さくしているため、これらの Web ページでの画像変化の分析には不向きである。近年のブロードバンドの普及により、ロード中の画面表示を分析する必要性は低くなっている。また、Flash やアニメテッド GIF などの表示内容は評価できないが、Web ページ上のどの部品に注目しているかなど Web ページ上の構造や、Web ページ間の遷移の分析は、WebTracer のみで判定が可能である。このように WebTracer は、Web ページ全体の分析や、画面を変化させないプロトタイプ作成

段階でのユーザビリティ評価には有効であると考えられる。

また、従来の分析環境は Web サーバあるいはコンピュータの外部で記録をしているのでブラウザを選ばないが、WebTracer は IE(Internet Explorer) コンポーネントを利用しているので、他のブラウザ環境を選択することはできない。

このように必ずしも従来研究のすべてを包含するものではないが、WebTracer の高解像度の画面イメージと、詳細な分析が可能な時系列分析は、他の研究には無い特長である。WebTracer にはアナログビデオ信号の処理系が入らないので、高解像度の画像が得られるからである。従来の研究での時系列分析は、データの時系列一覧や、MPEG-2/4 形式によるランダムアクセスと順再生での分析のみが可能であった。これに対して WebTracer は、順方向/逆方向の通常再生/早送りのほか、注釈の記入や様々な検索が可能であり、ユーザの操作の特徴的な部分をより詳細に分析することが可能である。

4.3. 評価実験

WebTracer の有効性を検証する目的で評価実験を行った。(1)WebTracer の画像とスキャンコンバータからのビデオ出力との画質比較、(2)WebTracer の記録データ量と汎用的な動画圧縮方式である MPEG-2 形式、MPEG-4 形式との記録データ量の比較、(3)WebTracer と MPEG-2 形式、MPEG-4 形式とのランダムアクセス性の比較、(4)特徴的な視線データと Web ページとの関連の調査を行った。図 4.7 に視線計測装置を用いた評価実験の様子を示す。また評価実験の概要を以下に示す。

タスク： インターネット上で特定機能を持つ家電機器を探し出す

タスク実行時間： 362 秒

実行時の画面サイズ： 1024 × 768 ピクセル

記録方法：

WebTracer： 直接記録



図 4.7 視線計測装置を用いた評価実験の様子

MPEG-2 , MPEG-4 : DV(Digital Video) に記録し , 実験後にエンコード

記録画面サイズ :

WebTracer : 853 × 717(実行時のウィンドウサイズ)

MPEG-2 : 720 × 480 ピクセル

MPEG-4 : 720 × 480 , 1024 × 768 ピクセル

圧縮パラメータ :

WebTracer : 標準設定

MPEG-2 , MPEG-4 : ノイズが目立たず , 記録データ量が最も小さくなる
設定

評価実験は図 4.3 に示す構成で WebTracer を実行し , ディスプレイ出力にスキャンコンバータを介して , MPEG-2 形式および MPEG-4 形式のデータを記録した .
ただし , MPEG-2 形式および MPEG-4 形式の圧縮パラメータを最適化するために , スキャンコンバータの出力を確認すると共に DV(Digital Video) 形式で記録し

表 4.2 評価実験結果

	WebTracer	MPEG-2	MPEG-4	MPEG-4
解像度 (Pixel)	853 × 717	720 × 480	720 × 480	1024 × 768
記録データ量	14.0MB	272.0MB	48.5MB	140.1MB
ランダムアクセス時間	約 1 秒	約 1 秒	1 ~ 2 秒	約 5 秒

た．実験後にノイズが目立たない範囲で最も記録データ量が小さくなるようにパラメータを設定し MPEG-2 形式および MPEG-4 形式でビデオデータを圧縮した．

実験中のビデオ出力を目視で確認した結果，細かい文字の判別が不可能であった．これは，ビデオ信号はその走査線数である 525 ピクセル以上の垂直解像度を得られないからであると考えられる．WebTracer の再生画面は，JPEG 圧縮による若干のノイズが生じていたが，細かい文字を含めて全て読み取ることが可能であった．表 4.2 に記録データ量とランダムアクセスの評価実験の結果を示す．WebTracer は，記録データ量が最も小さく，MPEG-2 形式の約 1/20，720 × 480 ドットの MPEG-4 形式の約 1/3，1024 × 768 ドットの MPEG-4 形式の約 1/10 であった．また，再生データのランダムアクセス時間も，データ圧縮率の低かった MPEG-2 形式と同等で高速であった．WebTracer が逆方向の再生，注釈の記録，検索などの機能を有していることを考慮すると，実験対象の中では最も効果的に分析作業を支援できる環境であることがわかった．

ランダムアクセスに必要な時間はイントラフレームの設定比率が最も低い MPEG-4 が最も遅い結果になった．これは，イントラフレームとデルタフレームから任意の位置の画面をデコードする時間がより多く必要であったからであると考えられる．ランダムアクセスの結果はその再生環境に依存するので，ハードウェアの性能向上により改善される可能性があるが，今回実験で用いた環境では，WebTracer 再生時の CPU 負荷は MPEG-2 フォーマットとほぼ同等であったと言える．

また，注視点移動距離と注視点移動速度が Web ページの特徴を示していることもわかった．実験での注視点移動距離と注視点移動速度を図 4.8 に示す．図中の実線および Y 座標の左目盛が注視点移動距離，点線および Y 軸の右目盛が注

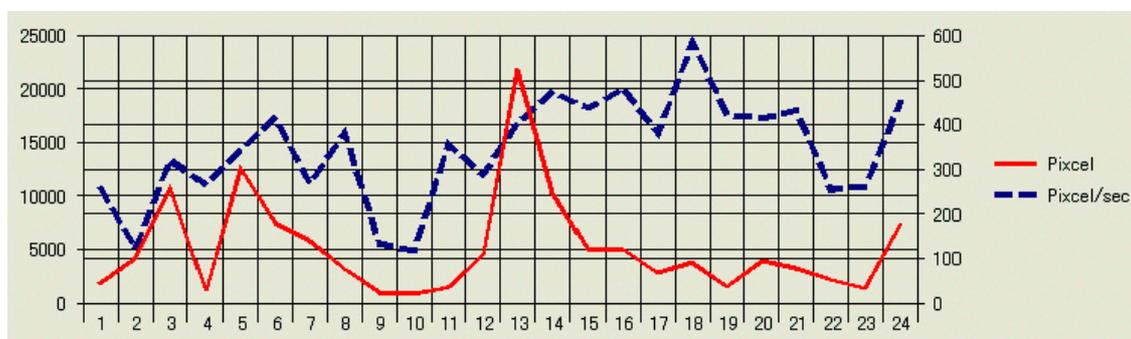


図 4.8 Web ページごとの注視点移動距離と注視点移動速度

視点移動速度を示し，X 座標はページ番号を示す．注視点移動速度の速かった 18 番目のページは左側と中央部にメニューがあり，選択すべき項目がわかりにくい画面であった．注視点移動速度の遅い 2，9，10 番目のページは表示量の少ない検索エンジンの入力画面およびエラー表示画面であった．注視点移動距離が長かった 3,5 および 13 番目のページはメニュー画面および PDF のページであり，視認性は高いものの情報量が豊富なページあった．このように得られた定量的データは Web ページの特徴を表しており，ユーザビリティ評価を支援できる可能性があると考えられる．

4.4. ケーススタディ

WebTracer を利用した Web ユーザビリティ評価の有効性を検証するため，ケーススタディとして実験を行った．この評価実験では，ある企業のサイトの中からある目的の情報を探すタスクを被験者に与え，WebTracer の機能を用いてインタビューを行い，被験者のコメントを記録した．

被験者は，日常的に Web を利用している社会人 2 名，理工系の大学院生 1 名の 3 名である．実験対象に設定した Web サイトは被験者にとって初めて閲覧するサイトである．実験手順とある企業の Web サイトから検索する 5 つの情報を以下に示す．

Phase1. ユーザがタスクを実行（バックグラウンドでデータ取得）

タスク 1：ある場所へのアクセス方法

タスク 2：従業員数

タスク 3：福利厚生

タスク 4：ある特定のニュース

タスク 5：ある工法に関する情報

Phase2. WebTracer による分析結果を提示し，それをもとにインタビュー

Phase3. 分析結果から得られた問題点の多そうなページを中心に操作と視線の再生画面を見ながらインタビュー

Phase4. 全体を通してインタビュー

Phase5. 視線とマウス操作の再生画面を早送り再生してインタビュー

実験の結果，3名の被験者によるコメント数をそれぞれ表 4.3，表 4.4，表 4.5 に示す．コメントとしては，問題点の指摘や被験者が操作中に考えていたことなどが含まれている．コメントの単位は，被験者の発話の一文とした．

今回の実験手順は WebTracer を用いることによって可能であり，他の代表的なユーザビリティの評価手法では困難であると考えられる．今回のテスト手順を他の評価手法で行うことが可能であるか比較したものを表 4.6 に示す．表 4.6 において，“ ”は評価に適している，“ ”は評価可能である，“ ”は評価できない場合もある，“ - ”はその評価手法では元来，規定されていないことを示す．例えば，“ユーザビリティラボにおける観察 ”の場合，定量的な分析結果はないため “ - ”，再生，早送り再生はビデオカメラ等で記録していれば可能なため “ ”，全体を通しては最後にアンケートをとれば可能なため “ ”となる．

今回の実験の場合，他の評価手法との単純な比較はできないが，今回の実験手順を “ユーザビリティラボにおける観察 ”で行うと仮定すると，Phase2 “分析結果” の手順を行うことができない．そのため表 4.6 において被験者 A が Phase2 により得られたコメント数 4 が “ユーザビリティラボにおける観察 ”では見つけ

表 4.3 被験者 A のコメント数

	タスク 1	タスク 2	タスク 3	タスク 4	タスク 5	合計	(%)
Phase2	0	0	3	0	1	4	8.0
Phase3	6	10	7	5	13	41	82.0
Phase4	3	0	0	2	0	5	10.0
Phase5	0	0	0	0	0	0	0.0

表 4.4 被験者 B のコメント数

	タスク 1	タスク 2	タスク 3	タスク 4	タスク 5	合計	(%)
Phase2	0	6	0	4	2	12	13.8
Phase3	6	11	22	5	23	67	77.0
Phase4	4	0	0	0	0	4	4.6
Phase5	0	1	0	3	0	4	4.6

表 4.5 被験者 C のコメント数

	タスク 1	タスク 2	タスク 3	タスク 4	タスク 5	合計	(%)
Phase2	2	1	4	1	4	12	11.6
Phase3	11	20	7	14	20	72	74.4
Phase4	0	0	0	2	1	3	4.9
Phase5	2	1	5	0	10	18	9.1

表 4.6 WebTracer を用いた評価と他の評価手法の比較

	P	T	U	I	WT
Phase2		-	-		
Phase3	-	-		-	
Phase4					
Phase5	-	-		-	

P : パフォーマンス測定

T : 発話分析法

U : ユーザビリティラボにおける観察

I : ユーザビリティインスペクション

WT : WebTracer を利用した評価

○ : 評価に適している

△ : 評価可能である

□ : 評価できない場合がある

- : 元来, 想定されていない

ることができなかつた可能性がある．つまり全体の約 8.0% のコメントを得ることができなかつた可能性があると考えられる．同様に被験者 B では 13.8 またこれまでの評価手法では被験者がタスクを実行する途中で，発話を行う，評価者の質問に答えるといった行動の制約がある，そのため，途中で操作する手を止めて思考が中断され，サイト全体の問題点，サイトにおけるページ間の問題点が見つかりにくいことが予想される．今回の評価実験ではユーザにそのような制約を与えることなくタスクを実行したためページ間の問題点も見つかると思われる．

4.5. 考察

本節では，遅延キャプチャ方式の優位性，WebTracer によるデータ収集・集計作業の削減，視線計測を用いた Web ユーザビリティ評価の可能性について考察する．

4.5.1 遅延キャプチャ方式の優位性

まず，遅延キャプチャ方式の優位性を従来の動画圧縮方式との比較から考察する．MPEG-2 形式，MPEG-4 形式は一定時間ごとにイントラフレームとデルタフレームを記録する．イントラフレームは静止画の圧縮方式である JPEG 形式で記録され，デルタフレームはフレーム間圧縮された情報が記録される．遅延キャプチャ方式は，表示に変化があった場合の画面を JPEG 形式で記録し，さらにマウスやキー操作時のイベント，一定時間間隔でサンプリングされた注視点の座標，を記録する．デルタフレームはバイナリデータであるのに対して WebTracer のイベント情報はテキスト形式であるので必ずしも効率的な形式ではない．しかし，従来の動画圧縮方式が一定間隔でデータを記録するのに対し，WebTracer は注視点の座標を除いてイベントドリブンで記録して記録回数を必要最低限に減らしているため，全体のデータ量が少なくなったと考えられる．将来，さらに効率の良い動画圧縮方式が開発されても，そのイントラフレームの圧縮形式でキャプチャ画像を保存すれば，WebTracer の優位性は保たれる．

また、記録される画像は、特定のビデオ形式を経由しないので必要なサイズの画像を高い解像度で過不足なく記録できる。これは、記録されるデータ量を小さくするほか、高解像度であるのでユーザビリティ評価を容易にする。ユーザの視線や操作といった定量的データになんらかの特徴が見られた場合、その理由の多くは画面上にあると予想される。従来は、解像度の低いビデオ画像からそこに示される情報を予想するか、ユーザが操作した際の Web ページを再度表示し、座標情報を元にそこに示される内容を特定する必要があった。ビデオ画像から予想できる場合は評価者に負担がかかる以外に問題はない。しかし、予想が困難な場合は Web ページを再度表示して確認しなければならないが、アドレスが同一であっても再表示の際に表示内容が異なる場合には分析できない。WebTracer は高解像度で画面を保存できるので、保存した画面から直接内容を確認できる。

さらに、ユーザの操作情報や分析時のコメントを追加する場合、従来の動画圧縮方式ではオーサリングツールによりビデオデータと合成しなければいけないが、WebTracer は、マウスやキーボードのイベントのほか、注釈などの様々なデータの記録や再生も同一のテキストファイルを介して行っており、比較的拡張が容易な形式である。例えば、Web ページ上のデータがダウンロードされる毎に画面をキャプチャする、心拍数や皮膚抵抗値など感情を示す生体データを記録する、逆に視線追跡装置の無い環境ではその機能を自動的に停止してマウスとキーボードのイベントと画面データのみを記録する、など様々なカスタマイズが可能である(実際に WebTracer はこのように機能が拡張されてきた)。

4.5.2 データ収集・集計作業の削減

評価者によるインタラクションに関するデータの収集・集計作業が WebTracer を利用することによってどれだけ削減できるかについて考察する。図 4.9 に、従来のデータ収集・集計作業と WebTracer を利用した場合の作業の比較を示す。Web ページ単位のユーザのインタラクションに関するデータを従来のデータ収集・集計作業で行った場合を想定し、WebTracer により自動化できた部分を囲んでいる。

Web ページ単位のユーザのインタラクションに関するデータを従来のデータ収集・集計作業で行う場合、まずサーバ経由で Web ページ遷移履歴、ユーザの PC

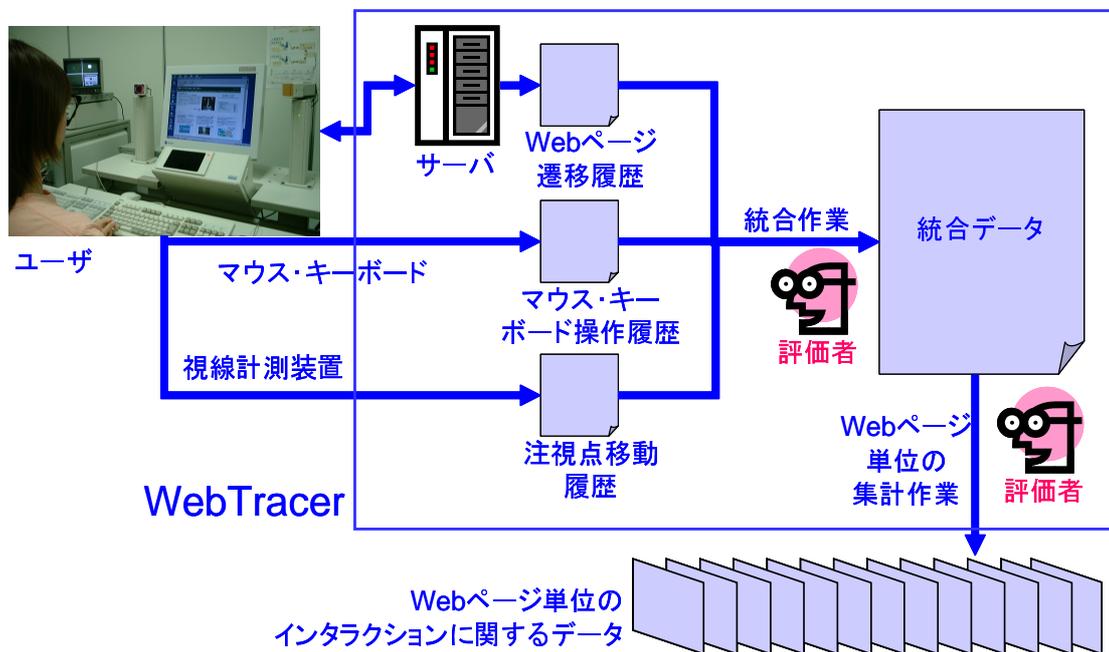


図 4.9 従来のデータ収集・集計作業との比較

からマウス・キーボード操作履歴，視線計測装置から注視点移動履歴を収集する必要がある．評価者はこれらの履歴をそれぞれの時系列を合わせて統合し，統合データを作成する．そして統合データから Web ページ単位にインタラクションに関するデータを集計する必要がある．このように Web ページ単位のユーザのインタラクションに関するデータを収集・集計するためには，評価者は履歴の統合，統合データの Web ページ単位の集計という新たな作業を行わなければならない．しかし，WebTracer を利用すればこのような作業を行う必要はなく，自動的に Web ページ単位のインタラクションに関するデータを収集・集計することが可能である．

4.5.3 視線計測を用いた Web ユーザビリティ評価の可能性

視線計測を用いた Web ユーザビリティ評価の可能性について考察する。ユーザビリティと関係する視線の研究は心理学の分野で眼球運動の研究として行われてきた [11, 33, 37]。人間が視覚情報を認識する場合、サッカード (飛越眼球運動) と呼ばれる高速な眼球運動と停留が繰り返し行われる。サッカードの間は他の情報の入力抑制され情報がほとんど知覚されないことがわかっている。視認すべき情報が多すぎると心の余裕が無くなり「あわてて」「探索的な」サッカードが多くなり、認知負荷が高くなり情報の理解が困難になる [33]。評価実験の結果において、注視点移動速度が速かったページの情報は多かった。WebTracer の注視点の入力間隔ではサッカードと他の眼球運動の区別は困難であるが、ページ内の注視点の総移動距離を滞在時間で割った移動速度が速いページは多くの停留とサッカードが短時間に繰り返されたページであると予想されるので、理解が困難な Web ページであったと考えられる。

反面、今回評価に利用した情報は、ページ単位での視線移動量のみであり、今後は他のメトリクスを含めた分析も必要である。ページ単位でのメトリクスはページ内での変化を表すことができないので、貴重な情報が他の情報により消されている可能性がある。評価実験をさらに行い、ページ内での視線の変化を示すようなメトリクスの検討やマウスなどの他の操作情報との関係の分析などを行う必要がある。さらに研究を進めることで、視線情報と Web ページとの関係が明らかになり、理論的に裏づけられれば、視線情報を用いて、ユーザビリティの問題点を指摘することが可能になると考えられる。

WebTracer は、ページ間の関係やページを遷移する際の分析にも利用できる可能性がある。Web サイトを評価する場合には、各ページの個々のユーザビリティが高いたくだけでなく、設計者の意図した構成になっている事も重要である。従来は Web サーバのログ解析によって評価されていたが、WebTracer の集計分析機能で示される情報を用いれば、このような評価をより効果的に支援できる可能性がある。例えば、検索性を重視してツリー状に構成されたページを順にたどるようなサイトでは、ページデザインに一貫性がないので迷ったか？あるいは、ページの変化が少なくページ遷移に気がつかなかったか？などの様子が視線に現れる可能

性がある．また，情報の一覧性を重視したサイトでは，その遷移情報からページ間をさまよっているかどうかだけでなく，ページ内で長時間探しているかも視線から判定できる可能性がある．

4.6. まとめ

本章では，Web サイト，Web ページのユーザビリティ評価を支援する，Web ページ閲覧中のユーザインタラクションの定量的データを記録分析する環境 WebTracer を開発した．WebTracer は，Web コンポーネントを利用することで，収集した Web ブラウジングデータをページ単位で集計することが可能である．また，定量的データの記録時に Web 表示の特徴を利用した遅延キャプチャ方式を用いており，高解像度の表示と記録データ量の削減，画面と定量的データの統合表示を実現した．評価実験の結果，WebTracer は従来の動画圧縮方式よりも，高解像度の画面を少ないデータ量で記録可能であることのほか，Web ページの特徴が視線データに現れていることがわかった．

Web アプリケーションは，営業・生産窓口といったいわば企業の顔であり，そのユーザビリティによって，売上や生産性は大きく変化する．ユーザの満足が得られるように，ユーザビリティガイドラインを用いたレビュー（ユーザビリティインスペクション）は，すでに数多く実施されている．しかし，レビューに比較して，より重大な問題を発見しやすいユーザビリティテストング [35] は，必ずしも数多く実施されているとは言えない [6]．これは，従来のヒューリスティックな方法では知識と経験を持つ評価者と多くの時間が必要であり，定量的データに基づく支援環境も整備されていないことが，一因であると考えられる．

WebTracer はユーザインタラクションの定量的データの記録と再生だけでなく，Web ページ単位に定量的データの集計が可能である．Web ページ単位の定量的データを利用することで効率的にユーザビリティが評価できる可能性がある．例えば視線データを用いることによって，ユーザの操作を中断することなくデータを記録した後に，インタビューによるユーザビリティ評価を行うことが可能である．今後，さらなる実験によって定量的データと Web ユーザビリティの関係が

明らかになれば、問題の存在すると思われる Web ページのみを確認することや、インタビューを行わずに Web 操作データのみでユーザビリティを評価するなど、効率的にユーザビリティが評価できる可能性があると思われる。

第5章 定量的データによる Web ユーザビリティの低いページの検出

ユーザの定量的データには、専門的な知識を必要とせずにユーザビリティの低い Web ページを検出できる可能性がある。ここで定量的データは、Web ページ閲覧中のユーザのインタラクションを定量的に記録したデータである。またユーザ自身が主観的に使いにくいと評価したページを Web ユーザビリティの低いページとする。Web ユーザビリティの評価に用いられてきた滞在時間、マウスや視線の動きといった定量的データは何らかのユーザビリティの特性と関係していると考えられる。これらを用いてユーザビリティの低い Web ページを検出できれば、評価者による分析を必要とする Web ページを削減し、より効率的にユーザビリティ評価が行える。しかし、これらの定量的データのうち、どの定量的データが Web ユーザビリティの低いページの検出に有効で、どの程度の検出力があるかは明らかになっていなかった。

本章では、Web ユーザビリティの低いページの検出へ向けて、10 名の被験者の Web ページ閲覧時の定量的データと被験者自身による主観的な Web ユーザビリティ評価の関連について実験を行い、定量的に分析したことについて述べる。その結果、視線の移動速度が Web ユーザビリティの低いページを検出するのに有効であることがわかった。さらにマウスのホイール回転量を利用することにより、Web ユーザビリティの低いページ 18PageView のうち、17PageView を検出することが可能となった。この検出された Web ページでは、被験者は目的の情報につながるリンクが見つからず、迷っている状況にあるため、使いにくいと評価したことがわかった。また、この判別の結果、ユーザビリティの評価者が収集

した Web ページを全て調べる必要はなく，記録した Web ページ全 192PageView のうち 89PageView の約 1/2 に対してユーザのインタラクションを詳細に調べる必要があることがわかった．このようにユーザビリティの評価者が導かれた判別関数を用いることで，詳細に分析しなければならない Web ページの数を大幅に削減することができ，Web ユーザビリティ評価作業全体の効率化につながると期待できる．

5.1. 定量的データを利用した判別分析

本節では，ユーザビリティテストにおける評価者による分析を必要とする Web ページ削減のためのアプローチとして，Web ユーザビリティの低いページを検出するための判別分析について述べる．

5.1.1 分析対象となる定量的データ

本研究では，Web ユーザビリティの低いページを検出するために，Web ページ単位での定量的データを分析する．定量的データは，Web ページ閲覧中のユーザのインタラクションを定量的に記録したデータである．ユーザビリティ評価には主に操作に要する時間が定量データとして用いられているが，今回は Web ページ単位での分析を行う必要があるため Web ページ毎のユーザの滞在時間を利用する．また，Web ページ閲覧時のユーザの入力デバイスとして，マウス，キーボードが考えられる．今回はすでに目的の情報が Web サイト内にあることをユーザが知っている状況を前提としており，検索サイトを利用しないことを想定しているため，Web ページ閲覧時にキー入力とは考慮しない．そこで本論文では，マウスの移動距離，マウスの移動速度といったマウスの動きを利用する．近年はホイール機能付のマウスが一般的であるため，ホイール回転量もあわせて利用する．Mueller [27] らが Web ページ閲覧中のユーザのマウスの動きを解析した結果，Web ページ上の空白にマウスを置いてページを読む人が多いと報告されている．そこで本論文では，マウスの動きにあらわれないインタラクションを観察・記録するため

に視線の移動距離，視線の移動速度といった視線の動きを計測し分析に利用する．今回，分析に利用する定量的データは下記の6つである．

- 滞在時間 (sec) : ある Web ページを見始めてから別の Web ページに遷移するまでの時間
- マウス移動距離 (pixel) : 画面上のマウスカーソルの移動距離
- マウス移動速度 (pixel / sec) = マウス移動距離 / 滞在時間
- ホイール回転量 (Delta) : マウスホイールの回転量 , 1 移動量 (notch) = 120 (Delta)
- 注視点移動距離 (pixel) : 画面上の注視点の移動距離
- 注視点移動速度 (pixel / sec) = 注視点移動距離 / 滞在時間

ここで，注視点とはユーザの視線とユーザが見ている対象の画面との交点である [37] .

これらの定量的データには，ユーザが Web ページを使いにくいと評価する原因となるインタラクションが表れると考える．ユーザが Web ページを使いにくいと評価する原因の一つとして，目的の情報が見つからないことが考えられる．そのような使いにくい Web ページでは，滞在時間が長くなることが予想される．また，Web ページの様々な箇所を見る必要があるため，視線は一箇所に停留せずサッカードが多くなるため，注視点移動距離が長くなることや注視点移動速度が高くなることが予想される．サッカードとは，高速な眼球運動と停留が繰り返される状態であり，サッカードの間は他の情報の入力が抑制され情報がほとんど知覚されないことがわかっている [37] . マウスは注視点の位置と強い相関があると報告されている [2] ため，マウス移動距離が長くなり，マウス移動速度も高くなると考えられる．Web ページがブラウザのウィンドウに収まらず，ユーザがウィンドウ内で目的の情報を見つけられない場合，ホイールを利用し，ホイール回転量が大きくなると考えられる．

その他のインタラクションを分析するための定量データとして，音声による入力が考えられるが，あまり一般的ではないため利用しなかった．またインタラク

ションを行う人間の内面を調べるために利用される定量データとして脳波，血圧が挙げられる．これらの定量データは，ユーザビリティ評価にあまり用いられていないため利用しなかった．

5.1.2 判別分析

判別分析とは，予測に用いるための多変量解析法の一つである [42]．これは， p 個の説明変数のもつ情報に基づいてそのサンプルがどの範疇に属するかを判定しようとする手法であり，目的変数は A であるか B であるかというような同等関係を示す分類尺度，説明変数は順序の間に距離が定義されている間隔尺度によって測られる．判別分析を Web ユーザビリティの低いページの検出に適用した場合，目的変数は，Web ページがユーザにとって使いにくいかそうでないかという同等関係を示す分類尺度に当たる．また，説明変数 x_1, x_2, \dots, x_p は，前節で説明した滞在時間，マウス移動距離といった 6 種類の定量的データとなる．

例えば，ある Web サイトにおいて，目的変数である使いにくい Web ページとそうでない Web ページのグループの結果がアンケートやインタビューから得られているものとする．これらのある 1 つの説明変数 x_1 で判別を行うときの判別関数 z は次の形で表される．ここで， a_0 は定数項を表す．

$$z = a_1 x_1 + a_0$$

5.2. 定量的データの記録実験

本章では，Web ユーザビリティの低いページを判別するための定量的データの記録と，ユーザによる主観的な Web ユーザビリティの評価結果を調べるためにおこなった実験について述べる．

本実験で用いた実験環境は以下のとおりである．

- ディスプレイ：液晶 21 インチ (有効表示領域：縦 30cm，横 40cm，解像度：1024 × 768pixel)

- 顔とディスプレイの距離：約 50cm
- 視線計測装置：NAC 社製 EMR-NC (視野角：0.28 度，画面上の分解能：約 2.4mm)
- 視線情報の記録・再生：WebTracer (サンプリングレート：毎秒 10 回)

5.2.1 定量的データおよびユーザ評価の収集

実験では，WebTracer [39] を用いて被験者にタスクを課した際の定量的データを記録した．タスクの内容はある Web サイト内から情報を探索することであり，1 つの Web サイトから 1 つの情報を探索することを 1 タスクとする．本実験では前節で述べたように，Web ページ単位の滞在時間，マウス移動距離，マウス移動速度，ホイール回転量，注視点移動距離，注視点移動速度の 6 つの定量データを記録した．

1 タスク終了直後に操作履歴を再生しながら，アンケートを実施するとともにインタビューを行った．アンケートでは，各 Web ページの使いやすさについて被験者に質問し，インタビューでは各 Web ページにおける閲覧時の状況について質問した．ここで同じ Web ページであったとしてもユーザが訪れるたびに見つかる問題が異なる場合がある．ユーザが使いにくいと評価した Web ページを網羅的に検出するためには，同じ Web ページであっても複数の問題が含まれていることを明示的に計測できる必要がある．そこで本論文では，Web ページのカウント方法として PageView (PV) を採用する．PV とは Web ページのアクセスカウントの 1 つであり，ブラウザによって 1 回リクエストされサーバから読み出される Web ページを 1PV とカウントする．複数の被験者が，同じ Web ページを訪れた場合，別の Web ページとして扱う．また，被験者がタスク実行中に，複数回同じ Web ページを訪れた場合も別の Web ページとして扱う．

5.2.2 被験者とタスク

被験者は、日常的に Web を利用している理工系の大学院生 10 名である。実験対象に設定した Web サイトは被験者にとって初めて閲覧するサイトである。

まず被験者に実験環境に慣れてもらうことを目的として、あるポータルサイトからニュースを 2 つ読むタスクを 2 タスク行うよう依頼した。次に、本実験として、実在する企業の Web サイトから大学院修士課程修了者の初任給を探すというタスクを行うよう依頼した。タスクの数は 5 つの企業の Web サイトから探す 5 タスクである。その際、実行するタスクの順番は被験者ごとにランダムに行った。

5.2.3 実験手順

前節の 5 つのタスク毎に、それぞれのタスクに対して以下の手順でユーザビリティテストを行い、Web ページ毎に定量的データを計測した。また、被験者の主観的な評価結果を調べた。

手順 1. 初期設定として、被験者のディスプレイに各企業のトップページへのリンクを張った実験用 Web ページを表示しておき、タスクを実行するために被験者がそのリンクをクリックした時点から実験を開始する。

手順 2. 被験者のタスク実行中のブラウザ操作の様子を WebTracer を用いて記録する。その際、評価者が被験者に対して質問するといったタスクの中断につながることは行わなかった。タスクは被験者が初任給を見つけることができたと申告した時点で終了する。

手順 3. タスク終了後すぐさま、被験者が訪れた Web ページを閲覧しながら、Web ページごとの使いやすさを下記の 5 段階から選択するよう依頼する。被験者が感じる使いやすさがどのような定量的データに反映されるか調べるためである。

1. 使いにくい
2. どちらかといえば使いにくい

3. どちらかといえば使いやすい
4. 使いやすい
5. わからない

手順4. WebTracer で記録した被験者の操作履歴を再生し，被験者に訪れた全ての Web ページを閲覧してもらう．その際，被験者が目的の情報を探索するにあたってどのような状況にあるのかについてインタビューを行った．

5.2.4 実験結果

実験の結果，被験者が閲覧した Web ページのうち 192 PV において被験者の定量的データを計測することができた．実験では 275 PV を記録したが，頻繁な瞬きや頭位置の移動などによって注視点を正確に計測できなかった Web ページが 75 PV あった．また，アンケート中の Web ページごとの使いやすさについて「わからない」と回答した Web ページが 8PV であった．これらを除く 192PV において定量的データを計測することができた．各定量的データの平均値は下記のとおりである．

- 滞在時間：12.9 (sec)
- マウス移動距離：1179.4 (pixel)
- マウス移動速度：110.2 (pixel/sec)
- ホイール回転量：277.5 (Delta)
- 注視点移動距離：4848.7 (pixel)
- 注視点移動速度：387.7 (pixel/sec)

本実験において，被験者の頻繁な瞬きや頭位置の移動のため注視点を計測できなかった場合があったが，視線計測は年々容易に記録できるようになってきている [32] ．

5.3. 定量的データによる判別分析の適用

本節では、定量的データを利用した判別分析を適用して、Web ユーザビリティの低いページの検出を行う。

アンケートの結果から、被験者が「使いにくい」と回答した Web ページを「使いにくいグループ」、「どちらかといえば使いにくい」、「どちらかといえば使いやすい」、「使いやすい」と回答した Web ページを「その他のグループ」に分類して集計した。ユーザビリティテストの特長であるユーザビリティの専門家でもわからないようなユーザトラブルを引き起こす Web ページは、被験者にとって「使いにくい」と回答される可能性が高いためである。集計の結果、「使いにくいグループ」は 18PV、「その他のグループ」は 174PV であった。

5.3.1 「使いにくいグループ」と「その他のグループ」における定量的データの平均値の差の検定

「使いにくいグループ」を検出するためには、「使いにくいグループ」と「その他のグループ」における定量的データの間には差がある必要がある。そこで、定量的データごとに「使いにくいグループ」と「その他のグループ」における平均値の差の検定 [13] を行った。表 5.1 より、「使いにくいグループ」と「その他のグループ」における平均値に有意な差があらわれる定量的データは注視点移動距離（有意確率 0.00628%）、注視点移動速度（有意確率 0.00001%）の 2 つであった。他の定量的データ（滞在時間、マウス移動距離、マウス移動速度、ホイール回転量）においても「使いにくいグループ」と「その他のグループ」の平均値の間には差は見られたが、有意な差ではなかった。これらの結果は、図 5.1 の験者にとって使いにくいグループとその他のグループの箱ヒゲ図からも確認することができた。

この結果から、Web ユーザビリティ評価に有効な定量的データは注視点移動距離、注視点移動速度であることがわかった。そして、使いにくい Web ページでは被験者は注視点移動距離が長く、また注視点移動速度が高くなることがわかった。

表 5.1 定量的データごとの使いにくいグループとその他のグループの平均値の差の検定結果

	被験者による評価				平均の差の検定 (有意確率 P)
	使いにくいグループ (18PV)		その他のグループ (174PV)		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
	滞在時間 (sec)	17.7	12.8	12.5	
マウス移動距離 (pixel)	1267.9	717.4	1170.3	1186.0	0.61434
マウス移動速度 (pixel/sec)	95.6	70.3	111.7	79.3	0.40922
ホイール回転量 (Delta)	606.7	995.9	246.2	592.4	0.14885
注視点移動距離 (pixel)	8743.3	5808.3	4445.8	3815.9	0.00628
注視点移動速度 (pixel/sec)	515.6	102.5	374.4	126.9	0.00001

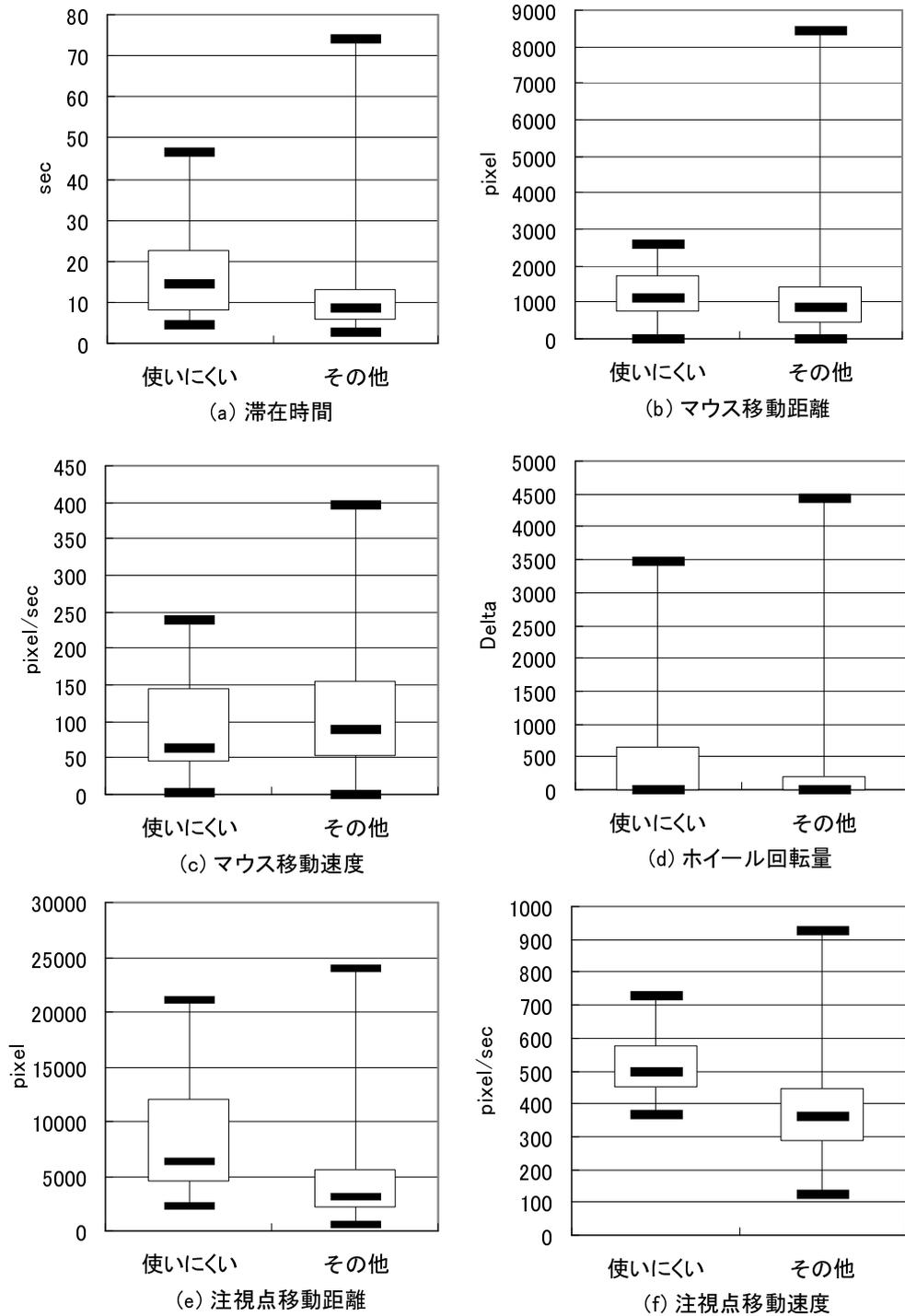


図 5.1 被験者にとって使いにくいグループとその他のグループの箱ヒゲ図

5.3.2 「使いにくいグループ」の判別分析

「使いにくいグループ」を検出可能な定量的データを明らかにするため、定量的データごとに「使いにくいグループ」の判別分析 [42] を行った。判別分析によって得られた定量的データごとの判別関数の判別係数、標準化判別係数、定数項、判別境界を表 5.2 に示す。また、この定量的データごとの判別式による「使いにくいグループ」と「その他のグループ」の判別結果を表 5.3 に示す。表 5.3 より、実際は「使いにくいグループ」であり、判別後も「使いにくいグループ」に判定される検出力が最も高い定量的データは注視点移動速度であった。また、その検出力は 77.8% で「使いにくいグループ」18PV のうち、14PV が検出可能であった。この結果から、「使いにくいグループ」を最も検出できる定量的データは注視点移動速度であることがわかった。X 軸に滞在時、Y 軸に注視点移動距離に被験者にとって「使いにくいグループ」と「その他のグループ」をプロットした散布図を図 5.2 に示す。この図から「使いにくいグループ」が判別境界である 445.0(pixel/sec) を超える範囲にプロットされていることが確認できる。以上のことから、「使いにくいグループ」検出のための閾値として注視点移動速度 445.0(pixel/sec) を用いると、ユーザの主観評価と 77.8% 一致することがわかった。

5.3.3 注視点移動速度とホイール回転量による検出

「使いにくいグループ」の検出力を高めるため、注視点移動速度で検出できなかった使いにくい Web ページにおける被験者のインタラクションを分析した。分析の結果、注視点移動速度で検出できなかった第 2 種の誤り の 4PV のうち 3PV でホイール回転量が多いことがわかった。ホイールを利用して Web ページをスクロールしているとき、被験者の注視点はほとんど動かないことがインタラクションの分析から確認することができた。Web ページをスクロールしない場合には、ユーザは目的の情報を探すために Web ページの様々な箇所に注視点が表れる。しかし、ホイールを利用して Web ページをスクロールしている場合には、注視点が画面上の 1 箇所にあったとしても、Web ページの内容はスクロールによって変化し、上下に注視点が移動し目的の情報を探すことと同様の行動を行うことがで

表 5.2 定量的データごとの判別関数

	判別係数	標準化判別係数	定数項	判別境界
滞在時間 (sec)	0.03913	0.45468	-0.58982	15.1
マウス移動距離 (pixel)	0.00007	0.08431	-0.08967	1219.1
マウス移動速度 (pixel/sec)	-0.00261	-0.20408	0.27032	103.7
ホイール回転量 (Delta)	0.00089	0.57322	-0.37809	425.1
注視点移動距離 (pixel)	0.00026	1.11004	-1.74111	6594.6
注視点移動速度 (pixel/sec)	0.00904	1.18337	-4.02173	445.0

表 5.3 定量的データごとの判別分析結果

	第1種の誤り		正しい決定 (1-)		第2種の誤り		検出力 (1-)		正判別率 %
	PV	%1	PV	%2	PV	%3	PV	%4	
滞在時間 (sec)	37	21.3	137	78.7	9	50.0	9	50.0	76.0
マウス移動距離 (pixel)	57	32.8	117	67.2	10	55.6	8	44.4	65.1
マウス移動速度 (pixel/sec)	99	56.9	75	43.1	7	38.9	11	61.1	44.8
ホイール回転量 (Delta)	29	16.7	145	83.3	11	61.1	7	38.9	79.2
注視点移動距離 (pixel)	31	17.8	143	82.2	10	55.6	8	44.4	78.6
注視点移動速度 (pixel/sec)	45	25.9	129	74.1	4	22.2	14	77.8	74.5

- 第1種の誤り : 実際は「その他のグループ」であるにもかかわらず、判別後、「使いにくいグループ」に判定された Web ページ
- 正しい決定 (1-): 実際は「その他のグループ」であり、判別後も「その他のグループ」に判定された Web ページ
- 第2種の誤り : 実際は「使いにくいグループ」であるにもかかわらず、判別後、「その他のグループ」に判定された Web ページ
- 検出力 (1-): 実際は「使いにくいグループ」であり、判別後も「使いにくいグループ」に判定された Web ページ
- 正判別率 (%): (正しい決定 (1-) + 検出力 (1-)) / 全 PV
- %1 = PV (第1種の誤り) / (PV (第1種の誤り) + (PV (正しい決定 (1-)))
- %2 = PV (正しい決定 (1-)) / (PV (第1種の誤り) + (PV (正しい決定 (1-)))
- %3 = PV (第2種の誤り) / (PV (第2種の誤り) + (PV (検出力 (1-)))
- %4 = PV (検出力 (1-)) / (PV (第2種の誤り) + (PV (検出力 (1-)))

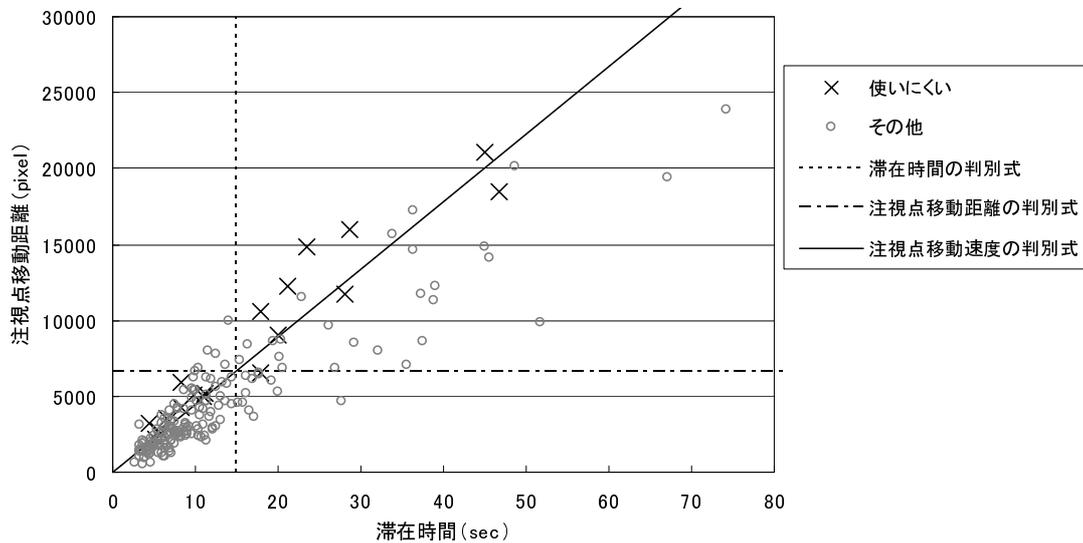


図 5.2 被験者にとって使いにくいグループとその他のグループの散布図

きる．このように，ホイール使用時は注視点をあまり動かさなくても Web ページ内から目的の情報を探ることが可能となる．使いにくいページビューの中でホイールを多用しているページビューでは，注視点移動が短くなるため，広い範囲で情報の探索が必要な場合においても注視点移動速度が低くなり，注視点移動速度のみでは検出できなかった．

この結果から，注視点移動速度が 445.0 (pixel/sec) よりも高い，または，ホイール回転量が 425.1 (Delta) よりも多い Web ページを「使いにくいグループ」と判別した場合，「使いにくいグループ」の検出力を 94.4% (18PV 中 17PV が検出可能) まで向上することができた．注視点移動速度による判別結果とホイール回転量による判別結果の関係を図 5.3 に示す．図 5.3 より，注視点移動速度とホイール回転量によって「使いにくいグループ」を検出した場合，Web ユーザビリティ評価の対象となる Web ページを約 1/2 の 46% (89PV / 192PV) まで，評価者による詳細な分析を行うことなく絞り込むことができる．

注視点移動速度とホイール回転量によって検出可能な Web ページにおける情

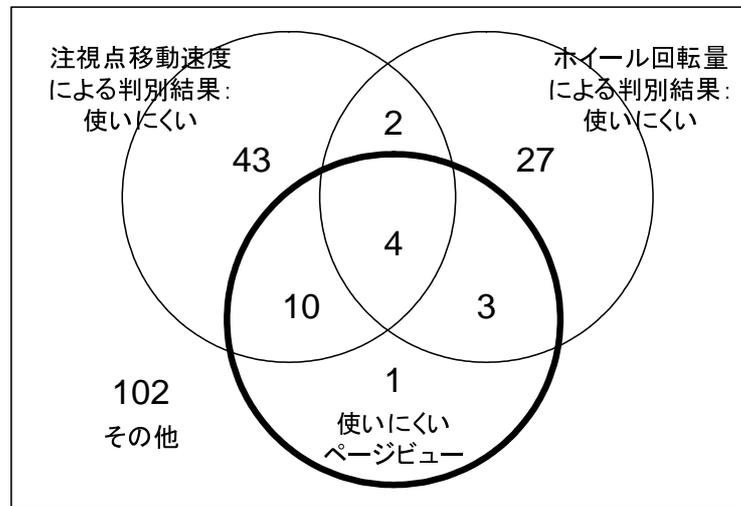


図 5.3 注視点移動速度による判別結果とホイール回転量による判別結果の関係

報探索時の被験者の状況を明らかにするため、インタビュー時の被験者のコメントを分析した。注視点移動速度とホイール回転量によって使いにくいと検出された 17PV においては、「目的の情報につながるリンクがなかなか見つからない」、「メニューの配置が悪く迷ってしまった」などのコメントが得られた。これらのコメントから被験者が目的の情報につながるリンクが見つからず、迷っている状況にあることがわかった。

また、注視点移動速度による判別結果とホイール回転量による判別結果を利用して使いにくいと判別できなかった 1PV においては、「目的の情報につながるリンクと思い込みクリックしたが、後でそのリンクが間違いだったと気づいたため使いにくいとした」というコメントが得られた。この Web ページでは「募集要項」のリンクの先に目的の情報である修士課程修了者の初任給が掲載されているのだが、被験者は目的の情報は「福利厚生」のリンクの先にあると思い込み、クリックしている。被験者にとってリンクのタイトルがリンク先の内容を示していないという Web ユーザビリティ問題はこのページにあるが、被験者自身には迷いは見られず、スムーズに操作していることがわかった。そのため、この Web ページは誤検出になったと考えられる。

これらの結果から，被験者が目的の情報につながるリンクが見つからず，迷っている状況にある Web ページは，検出可能であることがわかった．しかし，Web ユーザビリティ問題が含まれているにもかかわらず，被験者のインタラクションに迷いがあらわれない場合には，検出できないことがわかった．

5.4. 考察

本節では，定量的データにあらわれる個人差，得られた判別関数の一般化可能性の検証，被験者による主観的な評価に影響を与えると考えられる訪問回数と階層の深さ，多変量判別分析による検出力の向上について考察する．

5.4.1 定量的データの個人差

分析の結果から，注視点移動速度とホイール回転量を利用した判別関数が最も有効であることがわかった．なぜこの組み合わせが有効であるのかを被験者ごとの定量的データの個人差の観点から考察する．被験者ごとの定量的データの分布の箱ヒゲ図を図 5.4 から図 5.9 に示す．

まず，定量的データにあらわれる個人差に着目すると，図 5.7 から，定量的データの中でもホイール回転量は個人ごとに大きく差がある定量的データであることがわかった．被験者の中にはまったくホイールを使用しない被験者も B，J の 2 名いた．被験者 B，J は Web ページをスクロールする際，マウスによるスクロールバー操作またはスクロールバーの矢印ボタンを利用したためである．このような被験者の場合には，注視点移動速度のみから使いにくい Web ページを検出できるものと考えられる．ホイールを使用しない被験者の場合には，注視点移動速度を利用して使いにくい Web ページの検出を行い，ホイールをよく使用する被験者の場合には注視点移動速度とホイール回転量による判別結果を適用することが望ましいと考えられる．

また，図 5.7，図 5.9 から注視点移動速度とホイール回転量の関連について考察する．特に注視点移動速度が高い被験者 E，J に着目したところ，ほとんどホイールを利用していないことがわかる．また，逆に注視点移動速度が低い被験者

D, Fに着目すると, ホイールを多用していることがわかる. このような関係があらわれる原因として, ホイール利用時には注視位置を変えなくても, 画面がスクロールし, Web ページ内から情報を探ることができるからではないかと考えられる. これらの結果には被験者ごとの個人差が表れており, 「ユーザビリティテストを行う際には複数の被験者で行い, 様々な洞察を得る必要がある」[28]と考えられる.

5.4.2 一般化可能性の検証

今回の分析結果は, 限られた被験者によって得られたものであるため, Leave-one-out cross validation 法を用いて「使いにくいグループ」の判別分析の一般化可能性について考察する.

まず, 今回の実験で記録した 192PV から 1PV を取り出し, 独立性を保つため残りの 191PV に対して判別分析を行い, 判別関数を導く. 判別分析は, 最も検出力の高い注視点移動速度による判別分析を行った. 得られた判別関数を取り出した 1PV に適用し, 判別結果を導く. これを記録した 192PV 全てに対して同様に行い, 192 ケースの判別結果を得た. その結果を表 12 の Leave-one-out cross validation 法によるリサンプリング結果に示す.

分析の結果, 実際は「使いにくいグループ」であり, 判別後も「使いにくいグループ」に判別されたケースの検出力は 77.8% で「使いにくいグループ」18 ケースのうち, 14 ケースが検出可能であった. この結果から, 他の実験を行った場合にも判別分析から得られた判別関数を利用することによって使いにくい PV を検出できる可能性があることがわかった.

さらに得られた判別関数の一般化を検証するため, 追加実験を行い 5 名の被験者の定量的データを記録し, 判別関数を適用した. 実験の結果, 5 名の理工系の大学院生から 71PV を記録した. 記録した 71PV に対して最も検出力の高かった注視点移動速度による判別関数を適用した結果を表 5.5 に示す. 表 5.5 より, 実験対象の Web サイトが一部リニューアルされていたこともあり, 被験者にとって使いにくい Web ページが 2PV と少ないが, 注視点移動速度による判別関数を適用した結果, 100% の検出力であることがわかった.

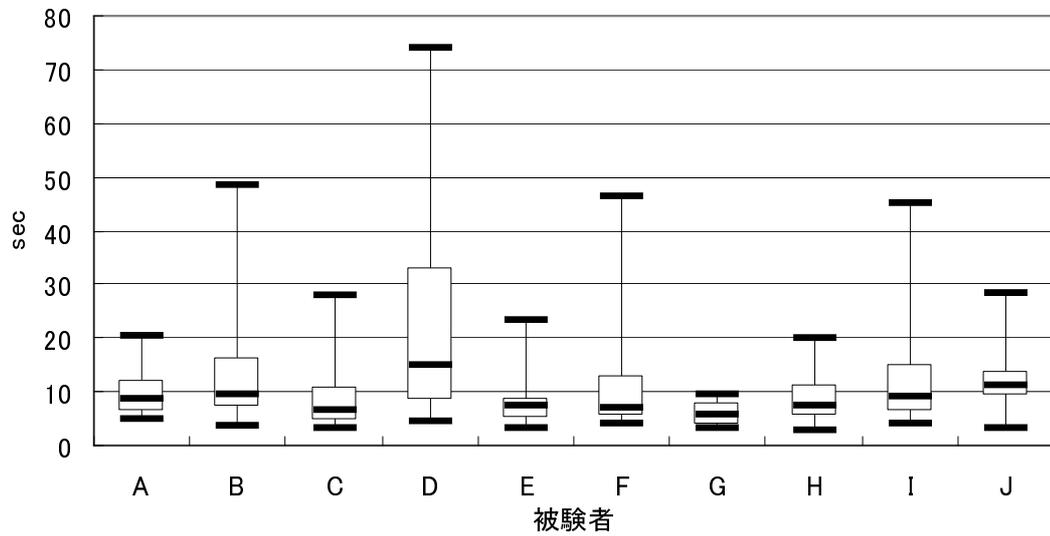


図 5.4 滞在時間における被験者の個人差の箱ヒゲ図

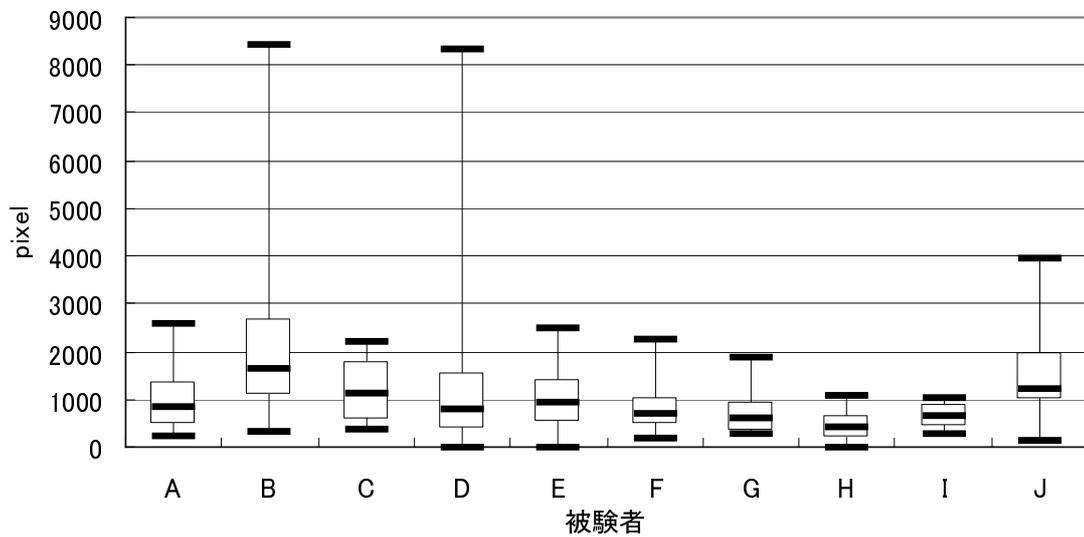


図 5.5 マウス移動距離における被験者の個人差の箱ヒゲ図

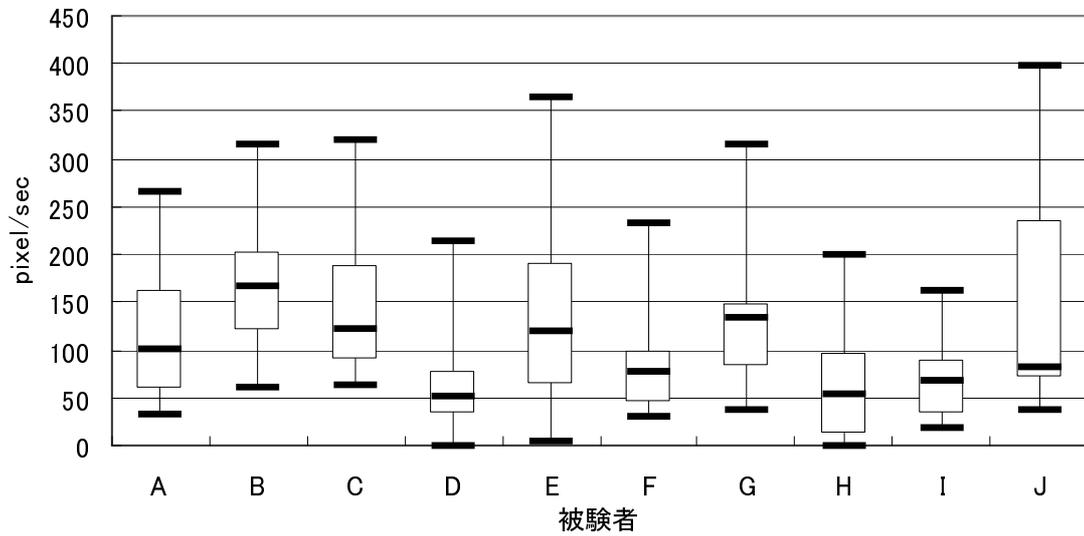


図 5.6 マウス移動速度における被験者の個人差の箱ヒゲ図

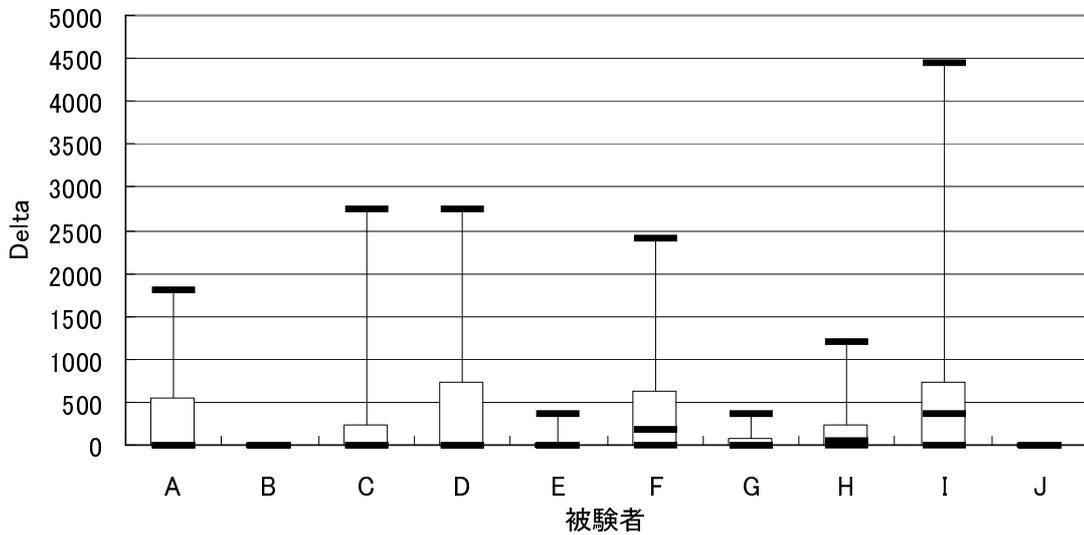


図 5.7 ホイール回転量における被験者の個人差の箱ヒゲ図

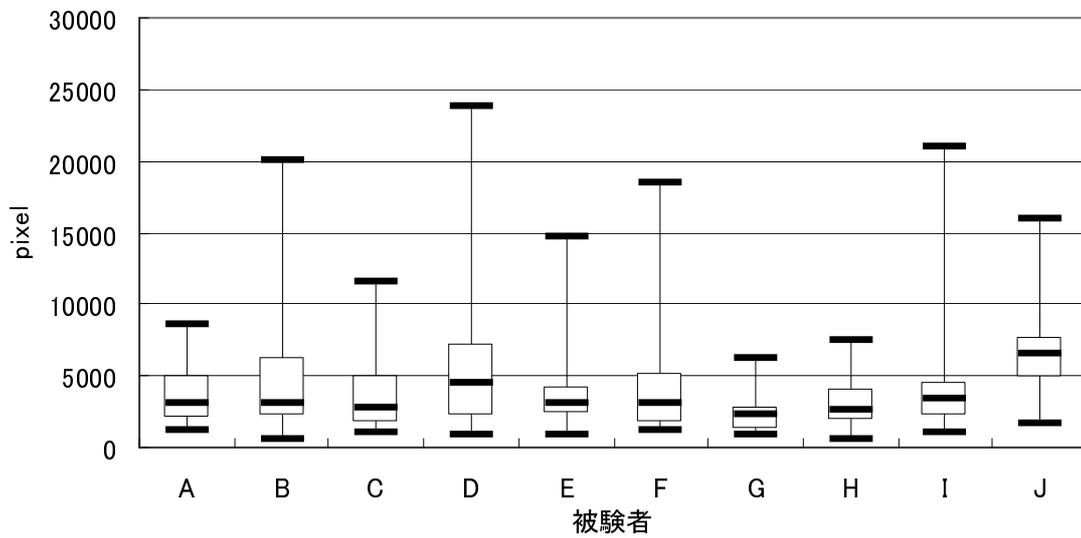


図 5.8 注視点移動距離における被験者の個人差の箱ヒゲ図

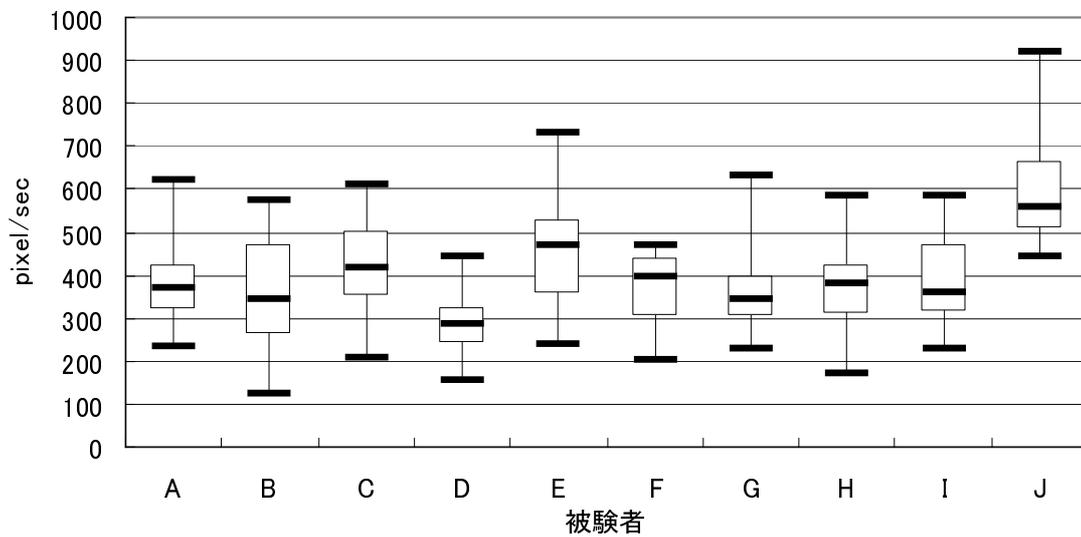


図 5.9 注視点移動速度における被験者の個人差の箱ヒゲ図

表 5.4 Leave-one-out cross validation 法によるリサンプリング結果

	第 1 種の誤り		正しい決定 (1-)		第 2 種の誤り		検出力 (1-)		正判 別率 %
	ケース	%	ケース	%	ケース	%	ケース	%	
	注視点移動速度 (pixel/sec)	45	25.9	129	74.1	4	22.2	14	

表 5.5 注視点移動速度による判別関数の適用結果

	第 1 種の誤り		正しい決定 (1-)		第 2 種の誤り		検出力 (1-)		正判 別率 %
	PV	%1	PV	%2	PV	%3	PV	%4	
	注視点移動速度 (pixel/sec)	48	69.6	21	30.4	0	0.0	2	

しかし、得られた判別関数の一般化を検証するためには、より多くの被験者による実験、また被験者とは別の被験者による Web ページの評価を定量的データから予測するといった実験がさらに必要であると考えられる。一般に適用可能な判別境界を得るためには、全ユーザの集合からランダムに多数の被験者を選び、全 Web サイトの集合からランダムに多数の実験対象の Web サイトを選ぶ必要がある。しかし、そのような被験者を集めるためには膨大な予算が必要であり、限られた被験者で行わなければならなかった。また、実験結果を公開する可能性があることから、Web サイトを実験対象として利用する際に Web 管理者の許可を得る必要があるため、多数の Web サイトについて実験を行うことはできなかった。しかし、今後さらに、被験者の数、Web サイトの数を増やすことができれば、一般に適用可能な判別境界の値に近づいていくと期待できる。そのような判別境界の値が求めれば、ユーザビリティテストを行うたびに判別分析を行う必要はなくなると考えられる。

5.4.3 訪問回数と階層の深さによる検証

今回の実験では、被験者の主観的なユーザビリティ評価に基づいて分析を行っているため、同じ Web ページを何度も閲覧するうちに主観的な評価が変化することが考えられる。例えば、「最初は使いにくかったが、何度も訪れるうちに慣れてしまった」、あるいは「最初は問題点に気付かなかったが、何度も訪れるうちに使いづらい点が見えてきた」というような変化である。今回の分析結果が、このような訪問回数による被験者の主観の変化と関連性があるか分析を行い、考察した。訪問回数は各被験者が行ったタスクごとに、同じ URL の Web ページを閲覧した回数とする。

使いにくいグループとその他のグループの訪問回数の分布とその平均値、また平均値の差の検定結果を表 5.6 に示す。表 5.6 より、使いにくいページレビューの訪問回数とその他のグループの訪問回数の平均値の間に差があるとは言えないことがわかった。この結果から、今回の実験では訪問回数という要因だけでは、被験者による Web ページごとの主観的な評価を予測できないと考えられる。

また、今回の実験では、被験者の主観的なユーザビリティ評価に基づいて分析

表 5.6 使いにくいグループとその他のグループの訪問回数の平均値の差の検定結果

訪問回数	使いにくいグループ		その他のグループ	
	(PV)	(%)	(PV)	(%)
1	11	61.1	153	87.9
2	6	33.3	16	9.2
3	1	5.6	4	2.3
4	0	0.0	1	0.6
平均訪問回数	1.44		1.16	
標準偏差	0.62		0.46	
平均の差の検定 (有意確率 P)			0.068	

を行っているため、Web サイトの階層をいくつも降りていくうちにストレスが蓄積され主観的な評価が変化することが考えられる。あるいは Web サイトのトップページのデザインの印象から目的の情報まで何回もクリックしなければいけない思い、最初は使いにくいと感じたが、階層を降りていくうちに目的の情報に近づいていると感じ、ストレスが緩和されていくことも考えられる。今回の分析結果が、このような Web サイトの階層の深さによる被験者の主観の変化と関連性があるか分析を行った。階層の深さは各被験者が行ったタスクごとに、タスクで訪れた Web サイトのトップページを階層の深さ 1 として、被験者がリンクをクリックして Web ページを閲覧するたびに階層の深さを +1 した。また、被験者がブラウザの「戻る」ボタンをクリックして 1 つ前の Web ページに戻った場合は階層の深さを -1 した。

使いにくいグループとその他のグループの階層の深さの分布とその平均値、また平均値の差の検定結果を表 5.7 に示す。表 5.7 より、使いにくいグループの階層の深さとその他のグループの階層の深さの平均値の間に差があるとは言えないことがわかった。この結果から、今回の実験では階層の深さという要因だけからで

は、被験者による Web ページごとの主観的な評価を予測できないと考えられる。

「使いにくいグループ」の主観的な評価に影響しうる要因は数多く考えられるが、影響の可能性が高いと考えられる訪問回数や階層の深さと被験者による主観的な評価の関連性について分析した。これらの分析の結果、各々単独で分析しても、被験者による Web ページごとの主観的な評価との関連性については確認することができなかった。しかし、本実験では訪問回数と階層の深さの2つの要因、および影響の可能性が高いと考えられるその他の要因について統制されていないため、各要因が相互に影響しあって、各要因単独では被験者による Web ページごとの主観的な評価との関連性が確認できなかった可能性も考えられる。今後さらに実験を行うことによって、「使いにくいグループ」の主観的な評価に影響しうる要因を明らかにするとともに、それらの要因の相互影響についても分析していく必要があると考えられる。

5.4.4 多変量判別分析による検出力の向上

本節では、複数の定量的データを組み合わせたステップワイズ変数選択による判別分析を適用して、ユーザにとって使いにくい Web ページの検出を行う。そして複数の定量的データを組み合わせることによってどの程度検出力を向上可能かについて考察する。

「使いにくいグループ」の判別分析では、下記の6つの定量的データを説明変数の候補として用いる。

x_1 : 滞在時間 (sec)

x_2 : マウス移動距離 (pixel)

x_3 : マウス移動速度 (pixel / sec)

x_4 : ホイール回転量 (Delta)

x_5 : 注視点移動距離 (pixel)

x_6 : 注視点移動速度 (pixel / sec)

表 5.7 使いにくいグループとその他のグループの階層の平均値の差の検定結果

階層の深さ	使いにくいグループ		その他のグループ	
	(PV)	(%)	(PV)	(%)
1	7	38.9	37	21.3
2	2	11.1	40	23.0
3	5	27.8	41	23.6
4	2	11.1	30	17.2
5	1	5.6	11	6.3
6	0	0.0	5	2.9
7	1	5.6	2	1.1
8	0	0.0	1	0.6
9	0	0.0	2	1.1
10	0	0.0	1	0.6
11	0	0.0	1	0.6
12	0	0.0	2	1.1
13	0	0.0	0	0.0
14	0	0.0	0	0.0
15	0	0.0	1	0.6
平均階層	2.56		3.13	
標準偏差	1.69		2.22	
平均の差の検定 (有意確率 P)			0.286	

しかし、マウス移動速度はマウス移動距離と滞在時間から求められるため、マウス移動距離と滞在時間を別の説明変数として扱わなければならない。また同様に注視点移動速度も注視点移動距離と滞在時間から求められるため、注視点移動距離と滞在時間を別の説明変数として扱わなければならない。そのため、下記の3つの説明変数の候補のグループを準備した。

$$\begin{aligned}
 G_1 &= \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\} && \text{: 全ての説明変数} \\
 G_2 &= \{x_1, x_2, x_4, x_5\} && \text{: 速度を除いた説明変数} \\
 G_3 &= \{x_3, x_4, x_6\} && \text{: 時間, 距離を除いた説明変数}
 \end{aligned}$$

また、それぞれの説明変数の候補のグループに対してステップワイズ変数選択を行い、判別分析を行う。さらに、ステップワイズ変数選択によって説明変数が少なくなった場合にも、全ての説明変数を用いて判別分析を行った場合と比べて判別の精度が劣らないことを確認するため、それぞれの説明変数の候補のグループを強制投入した場合についても判別分析を行う。それぞれの説明変数の候補のグループを強制投入した場合、ステップワイズ変数選択を行った場合について判別分析を行い、下記の6通りの判別関数を導いた。

z_1 : G_1 強制投入

z_2 : G_1 ステップワイズ変数選択

z_3 : G_2 強制投入

z_4 : G_2 ステップワイズ変数選択

z_5 : G_3 強制投入

z_6 : G_3 ステップワイズ変数選択

判別分析によって導いた判別関数ごとの判別係数、定数項を表 5.8 に示す。表 5.8 から判別関数 z_2 と z_4 は同じ判別関数であることがわかる。

また、それぞれの判別関数ごとに $z_i = 0$ を判別境界の閾値として「使いにくいグループ」を判別した結果を表 5.9 に示す。表 5.9 より、「使いにくいグループ」

表 5.8 多変量判別関数

	判別係数						定数項
	滞在時間 (sec)	マウス 移動距離 (pixel)	マウス 移動速度 (pixel/sec)	ホイール 回転量 (Delta)	注視点 移動距離 (pixel)	注視点 移動速度 (pixel/sec)	
z_1	-0.27779	-0.00102	0.00445	0.0008	0.00113	0.0006	-3.1189
z_2	-0.26832	-0.00092			0.00114		-2.32984
z_3	-0.3143	-0.00071		0.0009	0.00115		-2.39042
z_4	-0.26832	-0.00092			0.00114		-2.32984
z_5			-0.00431	0.0012		0.01107	-4.99005
z_6				0.00133		0.01051	-5.24407

z_1 : G_1 強制投入 : 全ての説明変数

z_2 : G_1 ステップワイズ変数選択 : 全ての説明変数

z_3 : G_2 強制投入 : 速度を除いた説明変数

z_4 : G_2 ステップワイズ変数選択 : 速度を除いた説明変数

z_5 : G_3 強制投入 : 時間, 距離を除いた説明変数

z_6 : G_3 ステップワイズ変数選択 : 時間, 距離を除いた説明変数

表 5.9 多変量判別関数による判別分析結果

	第1種の誤り		正しい決定 (1-)		第2種の誤り		検出力 (1-)		正判別率 %
	PV	%1	PV	%2	PV	%3	PV	%4	
	z_1	20	11.5	154	88.5	9	50.0	9	
z_2	20	11.5	154	88.5	6	33.3	12	66.7	86.5
z_3	20	11.5	154	88.5	8	44.4	10	55.6	85.4
z_4	20	11.5	154	88.5	6	33.3	12	66.7	86.5
z_5	40	23.0	134	77.0	4	22.2	14	77.8	77.1
z_6	40	23.0	134	77.0	3	16.7	15	83.3	77.6

z_1 : G_1 強制投入 : 全ての説明変数

z_2 : G_1 ステップワイズ変数選択 : 全ての説明変数

z_3 : G_2 強制投入 : 速度を除いた説明変数

z_4 : G_2 ステップワイズ変数選択 : 速度を除いた説明変数

z_5 : G_3 強制投入 : 時間, 距離を除いた説明変数

z_6 : G_3 ステップワイズ変数選択 : 時間, 距離を除いた説明変数

第1種の誤り : 実際は「その他のグループ」であるにもかかわらず, 判別後, 「使いにくいグループ」に判定された Web ページ

正しい決定 (1-) : 実際は「その他のグループ」であり, 判別後も 「その他のグループ」に判定された Web ページ

第2種の誤り : 実際は「使いにくいグループ」であるにもかかわらず, 判別後, 「その他のグループ」に判定された Web ページ

検出力 (1-) : 実際は「使いにくいグループ」であり, 判別後も 「使いにくいグループ」に判定された Web ページ

正判別率 (%) : (正しい決定 (1-) + 検出力 (1-)) / 全 PV

%1 = PV (第1種の誤り) / (PV (第1種の誤り) + (PV (正しい決定 (1-)))

%2 = PV (正しい決定 (1-)) / (PV (第1種の誤り) + (PV (正しい決定 (1-)))

%3 = PV (第2種の誤り) / (PV (第2種の誤り) + (PV (検出力 (1-)))

%4 = PV (検出力 (1-) / (PV (第2種の誤り) + (PV (検出力 (1-)))

と「その他のグループ」をどれだけ正確に判別できたかという正判別率に着目すると、 z_2 と z_4 が 86.5% と最も高いことがわかった。しかし、これは「その他のグループ」の割合が多いため、正判別率が高くなったと考えられる。ユーザビリティテストの大きな特長としてユーザトラブルを引き起こす重大な問題点を見つけることが可能な点がある。「使いにくいグループ」の見逃しはその重大な問題点の見逃しにつながるため、本論文では特に網羅性にあたる検出力 ($1 - \beta$) にも着目した。 z_6 の検出力 ($1 - \beta$) は 83.3% と「使いにくいグループ」18PV のうち、15PV が検出可能であり、 z_2 と z_4 の 66.7% と比較すると約 17% 高い。しかし、正判別率は 77.6% と約 9% の低下に抑えられている。

また、 z_6 はこれまでの 1 変数の注視点移動速度による判別関数よりも検出力が高いことが確認できた。さらに、実際は「使いにくいグループ」であるにもかかわらず、判別後「その他のグループ」に判定された場合である第 2 種の誤り β も抑えることが可能である。

これらの結果から、 z_6 の検出力が最も高く、「使いにくいグループ」を最も検出できるインタラクショndataの組み合わせは注視点移動速度とホイール回転量であることがわかった。そして、ステップワイズ変数選択によって説明変数が少なくなった場合にも、全ての説明変数を用いて判別分析を行った場合と比べて判別の精度が劣らないことも確認することができた。

5.5. まとめ

本章では、ユーザの定量的データと 10 名の被験者による主観的な Web ユーザビリティ評価の関連を調べる実験について述べた。実験により定量的データが計測できた 192PV を被験者による主観的な Web ユーザビリティ評価をもとに「使いにくいグループ」と「その他のグループ」に分類し、定量的に分析した。定量的データごとに「使いにくいグループ」と「その他のグループ」における平均値の差を検定した結果、注視点移動距離の差と注視点移動速度の差が有意であった。また、定量的データごとに「使いにくいグループ」の判別分析を行った結果、注視点移動速度の検出力が最も高く、77.8% (14PV / 18PV) であった。さらに、注

視点移動速度とマウスのホイール回転量による検出を行うことにより，検出力が94.4% (17PV / 18PV) となった．この検出された Web ページでは，被験者は目的の情報につながるリンクが見つからず，迷っている状況にあるため，使いにくいと評価したことがわかった．また，このような被験者にとって使いにくい Web ページを検出する場合，Web ユーザビリティ評価の対象となる Web ページを約 1/2 の 46% (89PV / 192PV) まで絞り込むことができた．つまり，評価の効率を約 2 倍にできる可能性がある．現時点では，視線計測そのものは手間のかかる作業であり，計測には物理的制約もあるので，Web デザインの現場で効率的支援が可能とまではいえないかもしれない．しかし，この点が計測器の発達により改善されれば本手法の実用的価値が上がると思われる．

今回の実験では，被験者の主観的なユーザビリティ評価に基づいて分析を行っているため，同じ Web ページを何度も閲覧したり，Web サイトの階層をいくつも降りたりするうちに主観的な評価が変化することが考えられる．しかし，使いにくいグループとその他のグループにおける訪問回数や階層の深さの平均値の差の検定の結果，各々単独で分析しても，被験者による Web ページごとの主観的な評価との関連性については確認することができなかった．今回の実験ではこれらのストレスも要因ではあると考えられるが，被験者にとって目的の情報につながるリンクが見つからず，迷っている状況のほうがより主観的に使いにくいと感じたと考えられる．そして，被験者がこのような状況にある Web ページを今回の分析結果を利用することによって検出できる可能性が高いと考えられる．これらの結果から視線やマウスの動きの特徴量とユーザの主観の間に関連性があることを確認した．

しかし，注視点移動速度とマウスのホイール回転量による検出では，「Web ページのデザイン自体は悪いのだが，探している項目はたまたま見つけやすいところにある」という場合など，検出されない可能性が考えられる．今後，さらに他手法との組み合わせについて検討し，これらの問題にも対応できるように発展させていきたい．また，誤検出が生じている Web ページにおける被験者のインタラクションの特徴を明らかにして除くなど，より誤りの少ない判別方法を提案する予定である．

第6章 おわりに

本論文では、評価者による分析を必要とする Web ページを削減するため、定量的データを利用してユーザにとって使いにくい Web ページを検出できるかインタラクション分析を行った。Web ページ単位での定量的データのインタラクション分析を行うため、定量的データを記録し、Web ページ単位での集計が可能なユーザビリティ評価支援環境 WebTracer を開発した。WebTracer は、(1) 高い解像度の画面を記録できる、(2) Web ページの遷移情報など Web 特有のデータが記録できる、(3) 分析に必要な情報を統合して再生・分析することができる、定量的データの記録分析環境である。WebTracer は、ユーザがどこを注視しつつ操作を行ったかをコンパクトに記録することが可能である。評価実験の結果、WebTracer は既存のビデオ圧縮方式である MPEG-2 や MPEG-4 に比べ 1/10 から 1/20 のデータサイズで、Web 操作画面を記録し再生することができた。WebTracer を用いれば、ユーザビリティの共同研究や、ユーザビリティ評価者と開発者の間でデータ交換することが可能になる。また、Web ページのメニューが 2ヶ所に分かれている場合は注視点移動速度が速かったなど、定量的データとユーザビリティが関連している可能性が示された。

次に記録した定量的データのうち、Web ユーザビリティの低いページの検出に有効な定量的データを明らかにするため、判別分析を適用した。ここでユーザ自身が主観的に使いにくいと評価したページを Web ユーザビリティの低いページとした Web ページ閲覧中のユーザの定量的データを記録するため、複数の Web サイトに対してユーザビリティテストを実施した。10名の被験者から記録した Web ページ 197PageView に対して判別分析を適用した結果、注視点移動速度が最も検出に有効な定量的データであることがわかった。さらにマウスのホイール回転量も利用することにより、ユーザ自身が主観的に使いにくいと評価したページ

18PageViewのうち17PageViewを検出することが可能となった。これらの検出されたWebページでは、ユーザは目的の情報につながるリンクが見つからず迷っている状況にあるため、使いにくいと評価しており、このような状況ではユーザは注視点移動速度が高くなり、頻繁にホイールを利用することがわかった。そして、評価者による分析を必要とするWebページを192PageViewから89PageViewの約1/2に削減することが可能となった。

Webユーザビリティ評価に要するコストはますます増加の一途を辿っており、評価の効率化が求められている。評価者が定量的データの分析作業の前に、Webユーザビリティの低いページを検出することにより、ユーザが訪れた全てのWebページに対して評価を行うのではなく、検出されたWebユーザビリティの低いページのみを評価対象とすることで評価作業の軽減につながる。今後、WebページにおいてWebユーザビリティ問題に直面したときの注視点移動速度をはじめとする定量的なデータの変化を調べることにより、Webページ内の具体的な問題点を定量的に指摘することができれば、ユーザビリティ問題の自動検出が可能になり、評価作業の自動化を実現できると期待する。

謝辞

本研究を進めるに当たり多くの方々に、御指導、御協力、御支援戴きました。ここに謝意を添えて御名前を記させて戴きます。本当にありがとうございました。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 松本健一教授には、本研究の全過程において熱心な御指導を賜りました。日常生活においても多大な御助力を賜り、研究に対する姿勢、研究の楽しさ、難しさ、色々なことを学ぶことができました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 小笠原司教授には、本研究を進めるに当たり、実験計画、Web ユーザビリティ評価の自動化における展望など貴重なご指導を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 門田暁人助教授には、ソフトウェアの開発について、多くの課題と御教示を賜り、多くの経験と知見を得る機会を戴きました。心より厚く御礼申し上げます。

広島市立大学情報科学部 島和之助手には、私の研究生生活の全過程において多大な御支援を賜りました。実験準備、論文執筆、研究発表、全てに渡り、熱意ある強力な御助力を賜りました。この5年間の間の私の実績は、先生の御協力がなければ成しえませんでした。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学 鳥居 宏次 特任教授には、研究に対する姿勢と、プレゼンテーションの技術に関して御指導を賜りました。2002年10月に開催された ISESE2002 では、非常に御多忙な中、本研究の内容のみならず、会場に展示されている多くの研究に関して子細に渡って御討論下さり、貴重な知見を賜ることができました。また、研究に対する真摯で熱意ある姿勢から、研究に対する大きな志を抱くことができました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学 Mike Barker 客員教授には、プロジェクトマネジメント、e-learning に関して多くのご指導を賜りました。e-learning での討論を通して教育の重要性について考える機会を与えていただきました。また先生の協力がなければ ICSE での発表は成しえませんでした。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 飯田元教授には、ソフトウェアの

プロセス改善技術に関して御指導を賜りました。これまで自分自身のたずさわったシステム開発においてどのような改善が必要であるかなどソフトウェア開発プロセス改善の重要性について考える機会を与えていただきました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 中村匡秀助手には、ネットワーク技術に関して多大な御協力を賜りました。また先生の御協力がなければ、ISESE、HCIでの発表は成しえませんでした。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 大平雅雄助手には、私にはないヒューマンインタフェースの観点から、多くの御指摘とご指導を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 川口真司助手には、研究発表について多くの課題と御教示を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

株式会社SRA 先端技術研究所 阪井誠氏には、本研究の全過程に渡って多大な御助力を賜りました。本研究の基礎を御築き下さっただけではなく、研究の初期には多くの基礎知識を御教示下さりました。心より厚く御礼申し上げます。

大阪芸術大学武村泰宏助教授には、教育の観点からソフトウェア工学に関する多くの知見を得る機会を戴きました。心より厚く御礼申し上げます。

阪南大学経営情報学部花川典子助教授とは、企業においてソフトウェア工学をどのように活用するかについて、また教育機関においてどのようにソフトウェア工学を教育すべきかについて議論を交わし、多くの知見を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

NTT 第二部門パブリックセクターレーション大野健彦氏には、視線に関する研究動向から実験方法など多くの知見を賜りました。またNTTサイバーソリューション研究所における研究発表では多くの研究者の方から本研究を進めるにあたって有益な意見を頂きました。心より厚く御礼申し上げます。

日本電気株式会社インターネットシステム研究所旭敏之主任研究員、京都産業大学情報通信工学科 岡田英彦助教授にはNEC 関西研究所において本研究に関する議論を交わすとともに、企業における研究の動向など非常に多くの知見を得る機会を戴きました。心より厚く御礼申し上げます。

本研究を進めるに当たり，奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 ソフトウェア工学講座の上野秀剛氏には研究を進めるにあたって技術的な御助言や御協力を頂きました．心より厚く御礼申し上げます．

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 ソフトウェア工学講座，ソフトウェア設計学講座の皆様には日頃より多大な御協力と御助言を賜りました．研究発表の準備や研究の過程で賜った御助力，励ましの言葉により，私は研究を完遂することができました．心より厚く御礼申し上げます．

本研究のきっかけを与えてくださり，また本学への進学も温かく見守ってくださったアイエス情報システム株式会社の高木 幹司氏に心より深く感謝いたします．また，挫けそうになる私の相談相手となり，陰になり日向になり励まし支援してくれたアイエス情報システム株式会社の多くの仲間，そして高専時代からの多くの友人に心より深く感謝します．

最後に，日頃より私を励まし，支えてくれた妻 美佳，息子 佑慎に心より深く感謝します．

参考文献

- [1] Ernesto Arroyo, Ted Selker, Willy Wei. Work-in-progress: Usability tool for analysis of web designs using mouse tracks. CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems, pp.484–489, 2006.
- [2] Mon Chu Chen, John R. Anderson, Myeong Ho Sohn. What can a mouse cursor tell us more?: correlation of eye/mouse movements on web browsing. CHI '01 extended abstracts on Human factors in computing systems table of contents, pp.281–282, 2001.
- [3] Joseph S. Dumas, Janice C. Redish. A Practical Guide to Usability Testing. Ablex Publishing, 1993.
- [4] Michael Etgan, Judy Cantor. What does getting WET(Web Event-logging Tool) mean for web usability?, HFWEB99, 1999.
- [5] K. Anders Ericsson, Herbert A. Simon. Protocol Analysis: Verbal reports as data, MIT Press, 1984.
- [6] Kelly Goto, Emily Cotler. Web ReDesign, Pearson Education, 2002.
- [7] 北島宗雄. ユーザビリティテストングについて. 情報の科学と技術 情報科学技術協会, Vol.54, No.8, pp.391–397, 2004.
- [8] Yoshiko Habuchi, Haruhiko Takeuchi, Muneo Kitajima. The Influence of Web Browsing Experience on Web-Viewing Behavior. ETRA Symposium, ACM, pp.47, 2006.
- [9] 羽瀨由子, 竹内晴彦, 北島宗雄. Web 閲覧時の視行動特性の分析法の提案. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006CD-ROM 論文集, 1221, pp.115–120, 2006.
- [10] Harry Hochheiser, Ben Shneiderman. Using interactive visualizations of WWW log data to characterize access and inform site design. Journal of

the American Society for Information Science and Technology, Volume52, Issue4, pp.331–343, 2001.

- [11] 堀井健, 上坂重樹, 小谷賢太郎, 眼球の加速度値を利用したサッケード運動の抽出. 日本人間工学会論文誌, Vol.42, No.4, pp.234–242, 2006.
- [12] 堀内可朗, 有村一郎. 画像圧縮技術のはなし. 工業調査会, pp.79–86, 1993.
- [13] 池田央. 統計ガイドブック. 新曜社, 1989.
- [14] 池本浩幸. 操作履歴を用いた GUI の操作性評価. 第 10 回ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.447–454, 1994.
- [15] 石村貞夫. すぐわかる多変量解析. 東京図書, 1992.
- [16] M. A. Just, P. A. Carpenter. Eye fixations and Cognitive processes. Cognitive Psychology, Vol.8, pp.441–480, 1976.
- [17] M. A. Just, P. A. Carpenter. The role of eye-fixation research in cognitive psychology. Behavior Research Methods & Instrumentation, Vol.8, pp.139–143, 1976.
- [18] Melody Y. Ivory, Marti A. Hearst. The state of the art in automating usability evaluation of user interfaces. ACM Computing Surveys, Vol.33, Issue 4, pp.470–516 2001.
- [19] 海保博之, 原田悦子. プロトコル分析入門 発話データから何を読むか. 新曜社, 1993.
- [20] 加藤隆. 認知インタフェース. オーム社, pp.195–199, 2002.
- [21] 河崎宜史. Web ユーザビリティへの取り組み. 情報処理学会学会誌, Vol.44, No.2, pp.163–168, 2003.
- [22] 黒須正明, 伊藤昌子, 時津倫子. ユーザ工学入門. 共立出版, pp.23, 1999.

- [23] 黒須正明. ユーザビリティテストング ユーザ中心のものづくりに向けて. 共立出版, 2003.
- [24] 黒須正明, 堀部保弘, 平沢尚毅, 三樹弘之. ISO13407 がわかる本. オーム社, 2001.
- [25] 三木弼一. MPEG-4 のすべて. 工業調査会, 1998.
- [26] 森雅俊, 宇井徹雄. 画面設計における視点移動分析の有効性に関する研究. オフィス・オートメーション, Vol.16, No.3, pp.49–56, 1995.
- [27] Florian Mueller, Andrea Lockerd. Cheese: Tracking mouse movement activity on websites, a tool for user modeling. In Proceedings of ACM SIGCHI Conference on Computer Human Interaction (CHI), 2001.
- [28] Jacob Nielsen, Landauer, Thomas. A mathematical model of the finding of usability problems. Proceedings of ACM INTERCHI'93Conference, pp.206–213, 1993.
- [29] Jacob Nielsen. ウェブ・ユーザビリティ. エムディエヌコーポレーション, 2000.
- [30] Jacob Nielsen. ユーザビリティエンジニアリング原論. 東京電機大学出版局, 1999.
- [31] Jacob Nielsen. F-shaped pattern for reading Web content. Jakob Nielsen's Alertbox, May 26, 2006. http://www.useit.com/alertbox/reading_pattern.html.
- [32] 宮本勝, 大野健彦. 視線を用いた Web デザインの評価. 情報処理学会研究報告 2006-HI-119, Vol.2006, No.72, pp.9–16, 2006.
- [33] 中島義明. 映像の心理学. サイエンス社, pp.83–103, 1996.

- [34] Netcraft company. November 2006 Web Server Survey. http://news.netcraft.com/archives/2006/11/01/november_2006_web_server_survey.html.
- [35] 岡田英彦. ユーザビリティとその評価手法. システム制御情報学会誌, システム制御情報学会, Vol.45 No.5, pp.269–276, 2001.
- [36] Hidehiko Okada, Toshiyuki Asahi. GUITESTER: a log-based usability testing tool for graphical user interfaces. IEICETrans. On Information and systems, Vol.E82-D No.6, pp.1030–1041, 1999.
- [37] 苧阪良二, 中溝幸雄, 古賀一男. 眼球運動の実験心理学. 名古屋大学出版会, 1993.
- [38] Laila Paganelli, Fabio Paterno. Intelligent analysis of user interactions with web applications. Proceedings of the 7th international conference on Intelligent user interfaces table of contents, pp.111–118, 2002.
- [39] 阪井誠, 中道上, 島和之, 中村匡秀, 松本健一. WebTracer: 視線を利用した Web ユーザビリティ評価環境. 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2575–2586, 2003.
- [40] Sheree Josephson, Michael E. Holmes. Visual attention to repeated internet images: testing the scanpath theory on the world wide web. An Eye Tracking Study. Proc. ETRA, pp.43–49, 2002.
- [41] 篠原稔和. ウェブ・ユーザビリティテストの実際. 情報の科学と技術 情報科学技術協会, Vol.54, No.8, pp.398–406, 2004.
- [42] 塩谷實. 多変量解析概論. 朝倉書店, 1990.
- [43] Will Schroeder. Testing web sites with eye-tracking. User Interface Engineering, 1998. http://www.uie.com/articles/eye_tracking.

- [44] Koji Torii, Ken-ichi Matsumoto, Kumiyo Nakakoji, Yoshihiro Takada, Shingo Takada, Kazuyuki Shima. Ginger2: An environment for computer-aided empirical software engineering. IEEE Trans. on Soft. Eng., Vol.25, No.4, pp.474–492, 1999.
- [45] Raymond Westwater, Borko Furht. Real-time video compression. Kluwer academic publishers, pp.15–21, 1997.
- [46] K. Rayner. Eye movement in reading and information processing. Psychological Bulletin, Vol.124, pp.372–422, 1998.
- [47] Jared M. Spool, Tara Scanlon, Will Schroeder, Carolyn Snyder. Web Site Usability: A Designer’s Guide. Morgan Kaufman, San Francisco, LA, 1999.
- [48] 谷萩隆嗣. マルチメディアとデジタル信号処理. コロナ社, pp.122–148, 1997.
- [49] 得丸英勝, 柴田碧, 岡村弘之, 長谷川利治, 添田喬, 中溝高好, 秋月影雄, 山川新二. 統計工学ハンドブック. 培風館, 1987.