

視覚障害者のための白杖型歩行支援デバイスの開発

-視覚障害者によるデバイスの評価と機能の拡張-

篠原 克麻

森 雄一郎

Katsuma Shinohara

Yuichiro Mori

高知大学大学院 総合人間自然科学研究科 理学専攻 情報科学コース

1. はじめに

現在、日本に視覚障害者は約 31 万人いる^[1]。しかし、視覚障害者は他の障害者と比較して外出頻度が落ちる傾向にある。これは、後天的に視覚に障害が発生することが多く、これまで得られていた視覚情報が奪われ、外出が危険になったことによるものである。たとえば、歩道と車道の段差、用水路、自動車や自転車などが大きなかがにつながるリスクとなりうる。こうした危険から身を守りつつ歩行するために、さまざまな手段を用いる。主な手段として、移動介護、盲導犬、白杖がある。それぞれには、安全性、利便性、コストの面において利点・欠点が存在する。

当研究室では、視覚障害者の歩行を安全に支援する歩行支援システムの開発を行っている。視覚障害者支援は大きく分けて 2 つの機能に分けられる。

1 つは事故につながる危険回避の機能である。この機能は、利用者が歩行の際、危険を回避し、安全を確保することを目的としている。危険回避機能は危険物を認識する機能と、利用者へ通知する機能が必要となる。

もう 1 つの機能は、利用者を目的地まで誘導することを目的としたナビゲーション機能である。ナビゲーション機能には、システムが目的地までの経路と現在地と利用者の向いている方向を把握し、目的地まで誘導する通知を行う機能が必要になる。

この 2 つの危険回避機能とナビゲーション機能を軸に歩行支援システムを構築し、視覚障害者の歩行を支援する。

2013 年度、森研究室所属の篠原、中内がグループで歩行支援システムの危険回避機能を目的とした、視覚障害者が歩行の際用いる白杖に注目して、白杖に電子機器を装着し、白杖の範囲外にある危険物を早期に発見、通知する白杖型歩行支援デバイスの開発を行った。

翌年、ナビゲーション機能として、紙名が屋内の無線 LAN を用いて利用者の現在位置を把握する屋内位置推定システムの開発を行った。

また、振動モータによる通知が知覚しづらいという問題が明らかになり、同研究室の中島が振動モータの使用方法の検討と白杖型歩行支援デバイスの音声通知との併用方法を検討し、フィードバック機能の拡充を行った。

同研究室の平内が、紙名の開発した屋内位置推定システムを基に、さらに詳細な位置と新たに方向の推定を行う局所的ナビゲーションによる位置推定システムの開発を行った(図 1-1)。

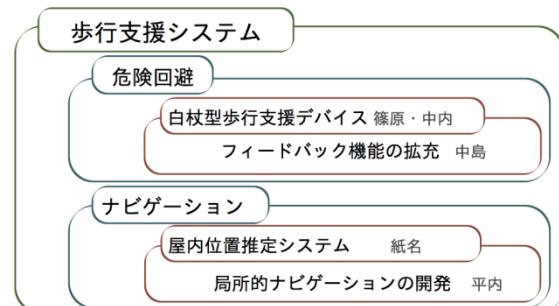


図 1-1. 歩行支援システムの開発図

本研究では、開発した白杖型歩行支援デバイスを実際に視覚障害を持つ方に評価して頂き、それに基づいてデバイスの改良を行う。

本項では、学部在籍時に開発した白杖型歩行支援デバイスについて述べた後、修士で行った予備実験、評価実験、追加の評価実験と、それぞれの予備実験、評価実験の後に行ったデバイスの改良について述べる。

2. 研究目的

本研究の目的は、学部在籍時に開発した白杖型歩行支援デバイスの機能の拡充である。適切な機能の拡充を行うために実際に視覚障害の方に白杖型歩行支援デバイスを評価して頂き、それを参考にデバイスの機能の拡張を行い、その拡張が有効であるかどうかを確認する。

3. 白杖型歩行支援デバイス

3.1. 白杖型歩行支援デバイスとは

白杖型歩行支援デバイスとは、白杖に電子機器を組み合わせ、白杖の範囲外の障害物を早期発見し、利用者へ通知することにより、視覚障害者の歩行を安全に支援するものである。この支援を実現するためには、障害物の検知、利用者が知りたい情報の把握、直進支援、利用者への通知を行う機能が必要となる。

3.2. ハードウェア

歩行支援を実現するために、ハードウェアの選定を行った(表 3-1)。処理部には PC を用いる。Xtion は PC に直接 USB 接続し、振動モータ、スイッチ、超音波センサは PIC に接続する。PIC と PC を接続し、各機器と PC との通信を可能にしている(図 3-1)。

表 3-1. ハードウェアの選定

機能	必要なスペック	選定したハードウェア
障害物の検知	距離情報を取得できるもの	Xtion
利用者が知りたい情報の把握	利用者が直感的に利用できる入力装置	スイッチ
直進支援	壁との距離情報を分かるもの	超音波センサ
利用者への通知	触覚・聴覚へ働きかけるもの	振動モータ 音声

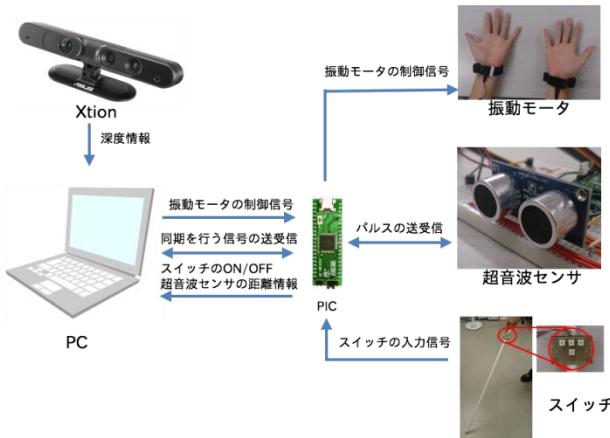


図 3-1. 各機器のつながり

歩行の際は背負子に PC を載せて背負い、腰に深度情報を取得できる Xtion を装着する。スイッチは白杖に取り付ける。両手首には通知用の振動モータを取り付ける(図 3-2)。



図 3-2. デバイスの装着図

3.2. ソフトウェア

3.2.1. 障害物検知

先ほど述べた、Xtion から送られてくる深度情報を基に障害物を判別する。障害物の定義は以下の 3 つの要件を満たすものとした。この 3 つの要件を満たす要素が一定以上存在した場合、障害物として認識する(図 3-3)。図 3-3 は実際に認識した障害物をわかりやすく着色した例である。緑色が 3 つの要件を満たすもので、黄色に着色されている部分は、2m 以上ではあるが、2m 以内にある障害物の一部であるため、障害物と認識している部分である。なお、通知は後述する振動モータによって行われる。

- (1) 50cm~2m 以内のもの
- (2) 一定以上の大きさがあるもの
- (3) 壁もしくは床でないもの



図 3-3. 障害物の認識例

3.2.1. 障害物検知の領域操作

晴眼者は歩行の際、目で見える範囲をすべて見ていいわけではなく、必要な範囲だけを注視するため、現在のままでは、利用者が注目したい方向が分からず、必要な情報が得られない。そこで、利用者が知りたい

方向をデバイスへ指示する機能を付加する。方法として、先ほど述べた白杖に取り付けたスイッチを用いる。スイッチは Xtion の捉える対象領域を三分割したものに対応し(図 3-4)(図 3-5)、知りたい領域に対応したスイッチを押すと、探索が始まり、離したタイミングで音声による通知が行われる。

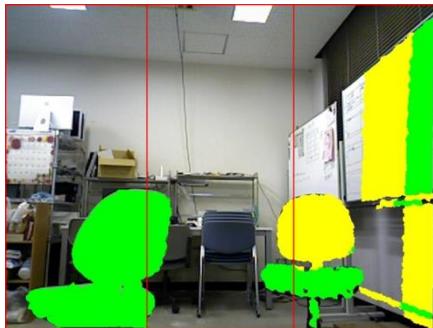


図 3-4. Xtion の捉える対象領域の分割

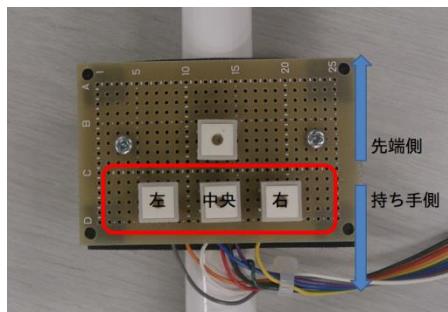


図 3-5. 白杖に取り付けたスイッチ

3.2.3. 利用者への通知

利用者への通知は振動モータと音声で行う。振動モータは常時動作し、Xtion の対象領域を三分割し(図 3-4)両手首に装着した振動モータが、障害物が存在する領域に運動して振動し、利用者に障害物がある事を知らせる(表 3-2)。また、障害物までの距離に応じて、振動モータの強さが 3 段階変化する(表 3-3)。

表 3-2. 障害物の位置と振動させるモータ

障害物の位置	振動させるモータ
中央+左(左のみ)	左手
中+右(右のみ)	右手
中央(左+中央+右)	両手

表 3-3. 障害物の距離と振動モータの強度

距離	50cm~1m	1m~1m50cm	1m50cm~2m
強さ	強	中	弱

音声通知は 3.2.1. で述べた白杖に取り付けたスイッチを押して離した際、動作する。通知内容は対象物までの距離と、対象物が何であるかを通知する。距離は歩数で通知する。通知対象物は、障害物、壁を通知する(表 3-4)。

表 3-4. 音声通知一覧

障害物(壁)までの距離	通知音声
50cm~60cm	「白杖の範囲付近に障害物(壁)があります」
60cm~90cm	「一歩先、障害物(壁)があります」
90cm~1m20cm	「二歩先、障害物(壁)があります」
1m20cm~1m50cm	「三歩先、障害物(壁)があります」
1m50cm~1m80cm	「四歩先、障害物(壁)があります」
1m80cm~	「五歩先、障害物(壁)があります」
障害物なし・壁なし	「障害物はありません」
障害物なし・壁あり	「左右に壁があります」

3.2.4. 直進支援

ここまで述べてきた機能はデバイスが持つ歩行支援機能の基礎部分である。今後デバイスを発展させていくためには危険部通知を通知するだけでなく誘導などの積極的な支援が必要となる。そこで、第一段階として利用者が通路上をまっすぐ歩行出来ているかを判定し、利用者へ通知する直進支援機能を実装した。直進の判定は超音波センサで利用者と壁との距離を計測し、判断する(図 3-6)。直進支援の起動及び終了は、白杖に取り付けたスイッチの先端側にある一つのスイッチを押すことによって行う。

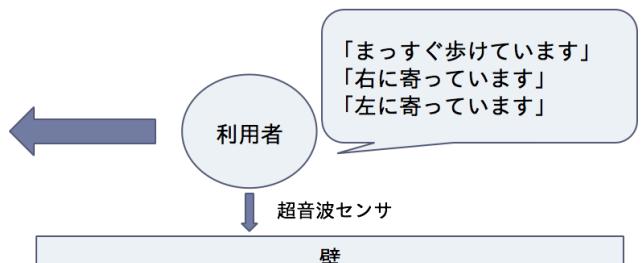


図 3-6. 直進支援のイメージ図

音声通知は起動・終了、直進支援が行えるかどうかの通知、どちらに寄っているかの通知を行う(表 3-5)。

表 3-5. 直進支援の音声通知一覧

条件	通知音声
直進支援が出来る時	「直進支援モードに移行します」
直進支援が出来ない時	「壁がありません、直進を支援できません」
左に寄っている時	「左に寄っています」
右に寄っている時	「右に寄っています」
直進できている時	「直進できています」
終了時	「直進支援モードを終了します」

4. 予備実験とデバイスの改良

4.1. 目的

予備実験の目的として、以下の 4 つの項目を明らかにすることにある。

- (1) 白杖のみの歩行との比較
- (2) 各機能の性能のチェック
- (3) フィードバックのチェック
- (4) 被験者への聞き取り

(1)はデバイスを用いた歩行は、白杖のみの歩行と比較して安全に歩行できているかどうかを確認する。(2)は各機能がさまざまな状況下で適切に動作するかを確認する。(3)は振動モータと音声による通知が適切に利用者へ伝わるかを確認する。(4)は普段の歩行の際、危険に感じることなどを被験者から聞き取りを行う。

4.2. 被験者について

3 つの実験にご協力いただき被験者について述べる。被験者は約 15 年前から約 5 年かけて徐々に視力が低下し、およそ 10 年前から白杖を持って歩行するようになった。普段は自宅から職場までの出勤で約 40 分程度、また職場内の移動に白杖を用いている。

4.3. 実験内容

実験は 2 つのルートの歩行を行う。実験に移る前にデバイスの使用方法をデバイスを装着して説明する。実験場所は被験者が所属する広島工業大学の講義棟 NEXUS21 で行った。こちらで実験を行う理由として、被験者が普段から歩き慣れてる通路であり、白杖のみとの歩行と比べて明確な違いを明らかにできると考えたかである。また、通路上にゴミ箱や椅子が設置されていたり、壁の一部が大きな窓になっているなど、様々な環境に対し、デバイスがどこまで対応できるかを確認できる。

歩行ルートは、1 つは障害物のあるルートを歩行し、障害物検知と通知の有効性を確認する。もう 1 つは壁が存在する通路を歩行し、直進支援の有効性を確認する(図 4-1)。



図 4-1. 実験ルート

4.4. 実験結果と課題点

実験の結果、白杖のみの歩行と比べて安全であると

いう評価が得られた。白杖の範囲外の危険物を早期に察知できる事が理由として挙げられた。しかし、課題点も多く、情報量が多い、多い割には必要な情報が得られない、振動モータがほとんど分からず、対象物の距離がわかりづらい、壁の回避方向が分かりづらいなどが明らかとなった(表 4-1)。それぞれの課題を解決するため、デバイスの改良を行う。

表 4-1. 課題点と改良案

課題点	改良案
振動モータによる通知が認識しづらく情報が煩雑	音声通知の自動化し、より質の高い情報を提供する
対象物の方向がわかりづらい	音声通知に「方向」を追加し、対象物の位置を把握しやすくする
壁の回避方向がわかりづらい	時計に見立てて回避方向を通知し、直感的に分かるようにする
歩行時、段差は大怪我に繋がる	安全確保のため、下り段差の認識・通知を行うようにする
ただ認識して通知するだけで必要な情報が得られない	認識処理後、どの対象物の通知が最も重要なかを決定し、通知する処理を追加する

4.5. デバイスの改良

4.5.1. 音声通知の自動化

評価実験の結果から、現状の振動モータによる通知は意味を成さないことがわかった。振動モータは 3 段階の振動強度が存在するが、歩行時に振動に注目することができず、それぞれを認識することができていなかった。そこで、振動モータによる通知は一時廃止し、音声による通知で行うようにした。廃止した振動モータによる通知は同研究室の中島が研究を行った。白杖に取り付けたスイッチを押すことにより動作していた音声通知は、スイッチを押すことなく自動で動作するようにした。音声通知の内容は、後述する障害物、壁、段差の通知を行う。また、なにもないときは「なにもありません」という通知を流す。通知間隔は、前の通知が終わるとすぐ次の通知を行う。これにより、情報の伝達能力が悪いモータを廃止し、多くの情報を伝達可能な音声による通知を行うことにより、歩行時の安全の向上を図る。

4.5.2. 音声通知の詳細化

実験時、音声通知の内容は、「距離」と「種類」であった。これは振動モータによる通知と、ボタンを押すことによって、利用者がおおまかな方向を選択していたため、「方向」の通知は行っていなかった。しかし、評価実験でスイッチを押す動作により歩行に集中できないことがわかった。モータ通知を一時廃止するため、今までモータにより通知できた「方向」が無くなる。また、音声通知をするためのスイッチの使用は必要最低限に止める必要があると判断し、通知の内容に「方向」を追加することにした。壁は直進支援

機能で回避が必要なときのみの通知となるため、壁の通知はなしとした。

方向の通知は障害物と、後に述べる段差通知の際に行われる。方向は 3 区画に対応した「左」「正面」「右」とした（表 4-2）。実際に障害物の通知を例にすると、変更前は「3 歩先、障害物があります」と通知していたのを「右方向、3 歩先、障害物があります」と通知する。これによりスイッチを押すのは利用者が Xtion の捉える対象領域の詳しい方向を知りたい時のみとなる。

表 4-2. 障害物通知の通知内容の変更点

改良前	改良後
内容：距離・対象物 例：「3歩先、障害物があります」	内容：方向・距離・対象物 例：「右方向、3歩先、障害物があります」

4.5.3. 直進支援機能の改良

直進支援機能による通知は音声により行われている。通知内容は「直進できています」「右によっています」「左によっています」の 3 パターンである。実験で回避方向がわからずジグザグ歩行をしてしまうという問題が浮き彫りとなった。そこで、新たに直感的に回避方向が分かる通知を追加する（表 4-3）。

表 4-3. 直進支援機能の通知内容の変更点

改良前	改良後
内容：方向 例：「左によっています」	内容：対象物、回避方向 例：「壁があります 11時 の方向に進んでください」

超音波センサによる壁の認識では限界がある。超音波センサは進行方向の左側に配置し、壁との距離を計測することによって通路を直進できているかどうかを判断しているため、直進支援機能を動作させる環境に制約がある。直進支援機能が常に動作できるようにし、また回避方向を決定できるよう、超音波センサではなく Xtion による直進支援機能の実装を行った。

回避方向は、直感的に分かるように時計の針を進行方向に見立てて「～時の方向」のように通知する。種類は進行方向に対して必要であるので 1 時、2 時、10 時、11 時とした。認識した壁の場所に応じて回避方向の通知を行う（図 4-2）。また進行方向全体に壁が存在するとき、左右のどちらかに方向転換するよう通知する。左右に壁がなく、正面に壁を認識した場合は柱として通知する。

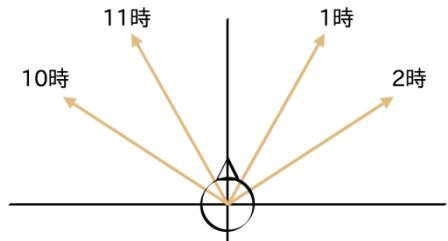


図 4-2. 回避方向の例

4.5.4. 段差検知と通知

被験者から聞き取りした危険箇所のうち、最も怪我の危険が大きい下り段差の認識処理を追加した。段差の認識は床と認識されている要素の上と下の要素の距離を比較して、大きなずれがあった場合に段差として認識する。床の深度情報のずれをより正確に判定するために、歩行前に床の深度情報のキャリブレーションを行う処理を追加した。通常、床であればこの程度の深度を示すことを事前にシステムに把握することにより、段差認識の精度を向上させる。

また、深度情報が得られない時、システムは床を認識できていない状況になる。床が認識できていないということは、「大きな段差」が存在するときなので、これについても別途処理を追加する。大きな段差の例として下り階段、駅のホームがあげられる。これにより、危険な下り段差を事前に利用者へ通知することにより、安全な歩行を支援できる。

4.5.5. 音声通知における優先順位の決定

白杖型歩行支援デバイスにおいて認識・音声通知される対象物の種類は障害物、壁、段差である。しかし、3 つの機能が対象物を発見し、通知処理を各々で行うと、そのシーンにおいて必要な情報が得られなくなる。例えば、障害物の通知が最優先であるシーンで壁の回避通知を行うといったことが起こる。歩行時のシーン毎に最も重要な情報を適切に通知するために、各機能から通知命令を受け取り、どの通知が重要かを判断する処理を追加した（図 4-3）。

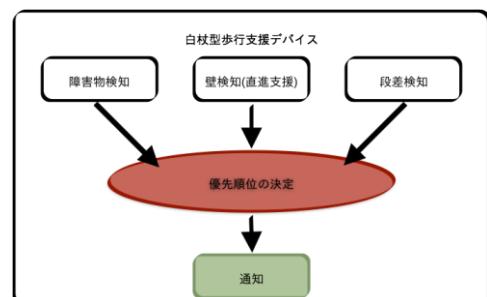


図 4-3. 各機能からの通知を集約し、通知を決定

どの通知が適切かを判断する材料として、対象物までの距離と種類、方向を用いる（表 4-4）。

表 4-4. 優先順位の決定

優先度	距離	種類	方向
高 ↓ 低	1m以内 (段差は1m50cm以内)	大きな段差 段差 障害物	中央
	1m以上 (段差は1m50cm以上)	壁	左右

これらの改良が有効であるかどうかを検証するため、同被験者に再びデバイスの評価を頂いた。

5. 評価委実験とデバイスの改良

5.1. 目的

目的は第3章で述べた改良・追加した機能の有効性を確認することである。予備実験時のデバイスとの比較の評価を得るため、被験者は予備実験にご協力いただいた方に再度お願いした。また、予備実験では、デバイス全体の使用感を確認するにとどまっていたため、本実験では各対象物に対する通知が適切であるかどうかなど、フィードバック面の評価を詳細に行う。なお実験場所、被験者は予備実験時と同様である。新たに追加した段差通知の検証を行うため前回歩行ルートに加え、段差の存在するルートを新たに項目に追加する（図 5-1）。

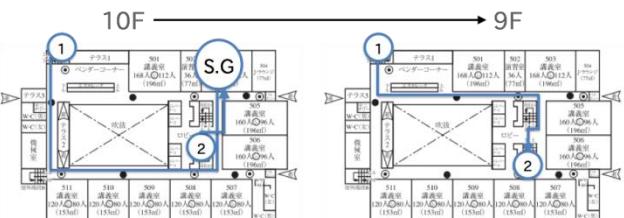


図 5-1. 新たに追加した歩行ルート

5.2. 実験結果と課題点

実験の結果、前回実験時のデバイスと比較すると 4 と一定の評価が得られた（表 5-1）。理由として、新たに段差の通知が行われるようになったこと、シーン毎に重要な通知を優先して行うことができていたためである。また、通知の項目では障害物、壁、段差において 4、または 5 と好評価が得られた。理由として、通知内容がより利用者にとってわかりやすくなつたためである。

表 5-1. 実験結果

質問	評価
以前のデバイスと比べてどうか	4
障害物の通知は適切だったか	5
壁の通知は適切だったか	5
段差通知は適切だったか	4
音声通知の間隔は適切だったか	4

しかし、通知に関する課題が浮き彫りとなつた（表 5-2）。これらの結果を受けより早急な修正が必要な通知の遅れに対して改良を行つた。

表 5-2. 課題点

	課題
障害物通知 段差通知	方向の通知がアバウトだった 小さな段差が検知できない 通知が遅い
壁通知	壁すれすれに平行に歩行しているときは通知がされない ジグザグに歩いてしまう
ボタンの 使用感	左右を探索するボタンはほぼ利用しなかった

5.3. デバイスの改良

通知対象物が存在しない時の通知の改良を行つた。通知対象物が存在しない時、「何もありません」と通知していたが、通知中に対象物が発見されても通知までにタイムラグが発生するため危険である。さらに、ずっと言葉が流れることによってメリハリがなく、通知のどこが重要であるかを把握しづらい。そこで通知対象物が存在しない時は「ピッ」という機械音を流すようにした。これにより、対象物発見から通知までのタイムラグを減らし、危険なときは言葉で、危険でない時は機械音でというメリハリを設けることにより、利用者が直感的に状況を把握できるようにした（図 5-2）。

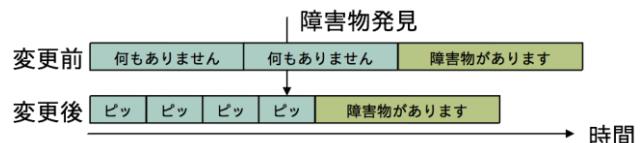


図 5-2. 音声通知の改良

この改良に関しても、追加の評価実験を行つた。評価として、通知の遅れが改善され、安全な時は機械音、危険な時は音声による通知を行うことによりメリハリがつき付き、解りやすいと、高評価を得られた。し

かし、「方向」の通知を行った後、「距離」の通知を行うため、その部分に関する通知の遅れは依然として残っている。

7. 今後の課題

今後の課題として、透明な物体の認識・通知、ジグザグ歩行、上り段差の認識・通知、下り段差の通知の種類の追加、スイッチを押した時の通知の詳細化、シーン毎の通知の改良が挙げられる。また、現在のデバイスはプロトタイプのため PC を背負い歩行を行っているため、今後はウェアラブルな物をめざす。

8. おわりに

当デバイスは危険回避を目的としたもので、今後、デバイスの機能の拡張と並行して、同研究室で行われているナビゲーション機能を持つシステムとの統合を行い、歩行支援システムとしての評価を行っていく。それと平行して、携帯性に優れたものにしていく。

参考文献

- [1] 厚生労働省社会・援護局 障害保健福祉部、「平成 18 年度身体障害児・者実態調査結果」、厚生労働省、2008.