

頭部の前後・回転運動に着目した デスクワーク中の割り込み拒否度と 頭部運動の関係の分析

木村 和行^{†1} 田中 貴紘^{†2} 藤田 欣也^{†2}

デスクワーク中の割り込み拒否度推定は割り込み制御に重要である。本研究では、デスクワーカーの頭部運動が情報取得のための視線移動を反映するとして着目した。実験により、1) 頭部運動時の割り込み拒否度は動かない場合と比較して有意に低い、2) 頭部前後運動の大きさが拒否度と相関する、3) 頭部前後位置が拒否度と相関する、4) 頭部前後運動の履歴と拒否度が相関する、5) これらの傾向が性質の異なるパズル課題・ペーパーテスト課題の両方で確認された。

Study of Head Motion Components related Uninterruptibility during Desk Working

KAZUYUKI KIMURA,^{†1} TAKAHIRO TANAKA^{†2}
and KINYA FUJITA^{†2}

Estimation of uninterruptibility during desk work is an important issue for acceptable interruption. In this study, we focused on the head movement of desk workers that is expected to reflect the gaze for information acquisition. The experiments in ten subjects revealed that 1) interruptions at head motion are significantly more acceptable; 2) the magnitude of saggital motion correlates with the uninterruptibility; 3) the saggital position correlates as well; 4) the fluctuation of saggital motion also correlates with the uninterruptibility; 5) these tendencies were observed in both puzzle tasks and paper examination tasks.

^{†1} 東京農工大学

Tokyo University of Agriculture and Technology

^{†2} 東京農工大学大学院

Graduate School, Tokyo University of Agriculture and Technology

1. はじめに

コンピュータとネットワークの普及により、今日では、計算機は計算や文書作成だけでなく、連絡や情報取得のための重要な手段となっており、ユーザは様々な場面で多様な情報端末を利用し、情報を得ることができる。一方で、ユーザはコンピュータから情報提示のための割り込みを受けることも多くなってきている。しかし、既存の情報提示システムはユーザが置かれている状況を反映しないため、たとえば、文章作成に集中しているときにメール到着通知のポップアップが表示されるなど、作業への集中を阻害しユーザの知的生産性を損なう可能性が懸念される。しかし、作業中に送信されてくる情報のすべてをユーザは無視することはできない。そのため、ユーザの状態を適切に反映した情報提示制御の必要性が指摘されてきた¹⁾。

ユーザの状態推定に関する先行研究として、マウスやキーボード操作量など PC から取得できる情報や各種センサ情報からユーザの忙しさを推定し、情報提示制御を行う研究があげられる^{2),3),5)-9)}。これらは、作業にとまれない観測される物理的アクティビティと忙しさが関係する作業において有効性が期待されるが、外部から作業に関連するアクティビティが観測され難い、深い思考などの知的作業に対しては適用が困難であると予想される。よって、知的作業を含め、適切にユーザ状態を推定する手法の検討が必要である。また、センサを用いる場合には、その設置コストや手間が導入障壁となる点も考慮する必要がある。

そこで、筆者らは PC 作業時のアプリケーションの切り替え (focused Application-Switching: AS) が知的作業を含む作業の切れ目と見なせるものと仮説をたて、ユーザが割り込みを受け入れられない度合いを主観的に評価した値である割り込み拒否度が、AS 時に有意に低下することを実験により確認し¹²⁾、AS 時の割り込み拒否度の推定可能性を示した^{13),14)}。しかし、対象が PC を使用した作業に限定されるため、推定対象作業を、より一般的なデスクワーク全般に拡張する必要性があった。

デスクワーク中の割り込み拒否度は、ユーザの態度や姿勢、作業進度など、外部から観察可能な情報との関連が期待される¹⁰⁾。なかでも頭部位置は、体の位置や姿勢、机との距離などを反映することに加えて、頭部には目をはじめとする重要な情報入力器官が存在するため、頭部の運動は、注視対象の移り変わり¹¹⁾ や集中状態の変化といったユーザの内的状態を反映する可能性が期待される。そこで、着座した被験者を直上の天井に設置した USB カメラで撮影し、被験者の左右方向を X 軸、上下方向を Y 軸とした簡易な 2 次元頭部位置計測システムを構築し、予備実験を実施したところ、デスクワーク中の頭部位置と割り込み拒

否度の関連性が示唆された¹⁵⁾。本研究では、頭部の水平移動に加えて回転運動も分析対象とし、デスクワーク中の頭部運動の3次元計測を行い、割り込み拒否度との関係を検討したところ、いくつかの傾向が認められたので報告する。

以降、本論文は、まず2章で関連研究と本研究の関係を述べた後、3章に本研究で構築した頭部運動計測・割り込み拒否度収集システムについて述べる。次いで4章で、本研究で行った頭部運動に基づく割り込み実験、5章で実験結果の分析、さらに6章で考察を述べた後、7章でまとめる。

2. 作業中のユーザの忙しさ推定に関する研究

2.1 関連研究

作業中のユーザ状態の推定を試みる研究は、これまで様々に行われている。推定対象をPC作業周辺に限定し、ユーザの割り込み拒否度を決定する主たる要因の1つと考えられる忙しさの推定研究として、キー入力数やマウス操作量からの状態推定法^{2),3)}や、PC操作量に加えてペンの使用・会話の有無も考慮した状態推定法⁴⁾があげられる。これらの研究では、ユーザのPC操作量が多くなるほどユーザが忙しいと想定されており、ユーザの作業が外部から観察可能なPC操作量をとまなう場合には忙しさの推定に有効と考えられる。反面、思考などの知的作業において、作業量がPC操作量のような物理的アクティビティとして計測できない場合には、忙しさを適切に反映することが困難と予想される。物理的アクティビティによらない内的な状態推定の可能性として、作業中の頭・胴・腕からなる姿勢と作業への集中度の関係¹⁰⁾が示唆されているが、胴や腕の運動は作業内容に強く依存する可能性があるため、より詳細な分析が必要であるといえる。そこで筆者らは、先行研究として、知的作業を含む作業の切れ目としてアプリケーション切り替え(AS)に着目し、AS時の割り込みは継続作業時と比較して拒否度が有意に低下することを確認¹²⁾、さらにはAS発生時の特徴数に基づくAS時割り込み拒否度推定法を提案¹³⁾した。しかし、適用対象をPC作業に限定しており、実環境においてはPC外作業時の忙しさや集中度の推定の必要性も示唆された¹⁴⁾。

また、オフィスワーク全体を対象としたユーザ状態推定の研究も行われている。ユーザの身体に筋電計と心拍計を装着し、筋電図と心拍変動の情報からユーザの忙しさを推定する研究⁶⁾では、高精度でユーザ状態の推定が可能としている。しかし、生理情報は外部要因の影響を受けやすく、直接ユーザの身体にセンサを装着することは実環境への適用が困難であるといえる。一方、マイクやカメラ、加速度センサなどを生活空間の中に遍在させ、そこから

得られる情報をもとにコンテキストの推測を行う研究⁷⁾⁻⁹⁾も多数試みられている。しかし、多くはユーザの作業の種類や状態(着座、移動、会話)の推定であり、その状態からさらに忙しさを推定する必要があるため、推定誤差が懸念される。会話の検出は、特に実環境での適用を考慮した場合に社会的要因として必要であるが、ユーザの忙しさや集中度と直接結び付くわけではない。また、長時間にわたってユーザ状態や作業内容をつねに推定しようとした場合、推定誤差が大きくなる可能性も懸念されるため、作業の切れ目など一時的に割り込みへの許容度が上昇するタイミングを検知・推定するだけでも、提示制御に有効であると考えられる^{16),17)}。

2.2 頭部運動に着目したユーザ状態推定

前節で述べたとおり、これまで、作業中のユーザ状態の推定を試みる様々な研究が行われている。PC作業のみを対象とした研究も多いが、適用先を職場などの実環境を想定した場合には、やはり推定対象のデスクワーク全般への拡張が望まれる。よって、できるだけ簡便で、作業内容に依存しない、汎用性の高い状態推定手法が必要である。

ここで、頭部の位置は、体の位置、向き、姿勢、机との距離などを反映し、また、頭部には目をはじめとする重要な情報入力器官が存在するため、頭部の運動は、注視対象の移り変わりや集中状態の変化など、ユーザの内的状態を反映すると予測される^{10),11)}。たとえば、作業に集中している状態では、作業空間(机)に対して前傾姿勢となり、作業対象(下方)を注視すると予想される。一方、非集中状態への移行は、伸びなどによる前傾から後傾への遷移や、注視を作業対象から外すことによる上方への視線移動として表出されると考えられる。このため、頭部位置や運動の分析は、知的作業を含むデスクワーク全般の作業を対象とした、作業中の割り込み拒否度推定要素の抽出へつながるものと期待される。

このような予測のもと、著者らは予備実験として、天井に設置したWebカメラから頭部位置を計測する簡易なシステムを構築し、デスクワーク中の頭部位置と割り込み拒否度の関係の分析を行った¹⁵⁾。実験の結果、頭部位置と拒否度に相関が確認され、頭部位置からの割り込み拒否度推定の可能性が示唆された。しかし、計測精度に問題があり、また、頭部運動を2次元平面上の運動として計測したため、3次元の回転運動が取得できず、運動の方向や大きさの分析には至らなかった。

そこで本研究では、3次元モーションキャプチャ装置を用いた高精度な頭部運動計測システムを構築し、被験者に性質の異なる2種類の課題を行わせ、課題中の頭部運動と割り込み拒否度の収集を行った。収集した記録を分析することで、頭部運動の計測による割り込み拒否度の推定可能性の検討を行った。

3. 頭部運動計測・割り込み拒否度収集システム

本研究では、モーションキャプチャにより頭部運動を計測し、その運動・位置に基づいて被験者に割り込みを行い、その時点の割り込み拒否度主観値を収集する、頭部運動に基づく割り込み実験を行う。そのため、頭部運動の計測、および割り込み拒否度収集を行う実験システムの構築を行った。本研究は、頭部運動による割り込み拒否度推定の可能性を検討することを目的に、モーションキャプチャを使用した頭部運動計測を行った。実用的にはより簡便な手法による計測が望ましいが、被験者への拘束が最小限に抑制できる点と、計測精度を優先した。

実験システムの構成を図 1 に示す。本システムは、大きく分けて、頭部運動計測部と割り込み制御部の 2 つのモジュールから構成される。両モジュールで取得した頭部運動パラメータと割り込み拒否度主観評価値を合わせて作業記録とし、データベースに保存、分析を

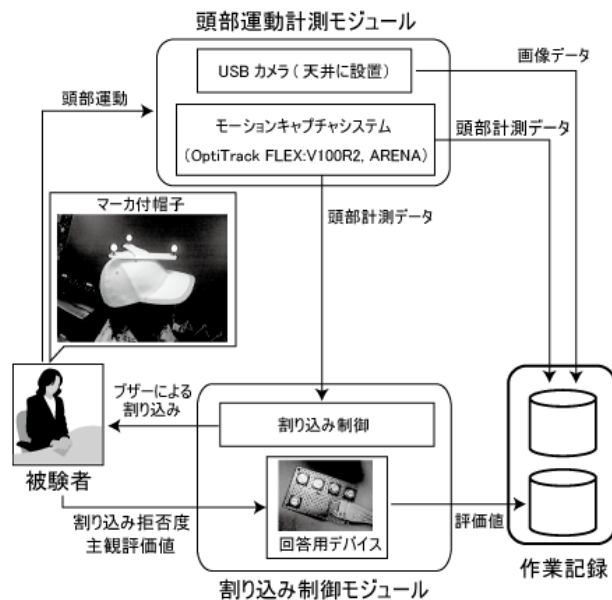


図 1 頭部運動計測・割り込み拒否度収集システム

Fig. 1 Experimental set-up for head motion measurement and interruptibility scoring.

行う。

3.1 頭部運動計測モジュール

本研究では、デスクワーク中のユーザを対象とするため、被験者を机に向かって椅子に着席させ、作業中の頭部運動の計測を行った。計測システムは、NaturalPoint 社製モーションキャプチャカメラ OptiTrack FLEX: V100R2 を 6 台と、モーションキャプチャソフトウェア ARENA を利用して構築した。カメラは着席した被験者を取り囲むように設置し、被験者には図 1 中央に示すようなマーカ付き帽子を被らせ、課題を行わせた。また、被験者の実験中の様子を後で確認できるように、机の上、床から約 2 m の位置に 360 × 240 pixel の USB カメラを別途設置し、撮影した。被験者は、カスタ付で背もたれが可動式の椅子に着座し、実験中に椅子の大きな移動が極力発生しないよう、被験者ごとに椅子を、机上作業が可能で作業実行に移動を必要としない位置に合わせ、初期の椅子位置をテープで床にマーキングし、確認した。姿勢変化とともに若干の変化はあったが、被験者と机の位置関係は変わらず、また、背もたれに積極的に寄り掛かるなど、測定結果に影響を及ぼすような大きな位置変化はなかった。

頭部運動の計測は、被験者が机に正対した状態で、背筋を伸ばして椅子に着席した姿勢を基準とする。取得する頭部運動パラメータを図 2 に示す。頭部の前後位置 (Y 軸上の位置)・左右位置 (X 軸上の位置)・上下位置 (Z 軸上の位置) と、頭部の上下姿勢 (Pitch 角)・左右姿勢 (yaw 角度), および、左右の傾斜 (roll 角度) であり、これらを 500 ms ごとに取得

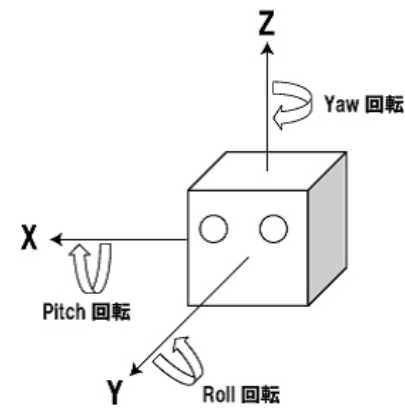


図 2 頭部運動パラメータ

Fig. 2 Parameters of capturing head motions.

する。また、取得されたデータは割り込み制御に利用される。

3.2 割り込み制御モジュール

本モジュールは、計測された頭部運動に基づき、マーカの方向や位置があらかじめ設定した割り込み条件を満たした場合に被験者に割り込み、拒否度の主観評価値を回答させる。図1右部に示すとおり、システムによる被験者への割り込みは、来客をイメージしたチャイム音により行う。割り込まれた被験者は、回答用デバイスの該当する評価ボタンを押すことで主観評価値を回答する。

割り込み実験を行うためには、システムによる割り込み頻度が過度に高くないような割り込み条件の設定が必要である。先行研究では、割り込み頻度を1分間に1回程度とし、割り込み最短間隔を60秒間として実験を行ったところ、全被験者において、拒否度の値が経過時間に比例して高くなり、また、割り込み頻度の影響で拒否度を高くしたなどの報告はなかった。そこで、1分間に1回程度の割り込み頻度を目安とし、各動作の大きさと発生頻度の関係を予備実験により検討した。予備実験は、20代男性4人を被験者とし、机に正対した着座姿勢で30分間自由に行動させ、その間の頭部運動を記録した。収集した記録をもとに、頭部の各移動量と回転角度ごとに、1分間に1回程度の頻度で割り込みが発生するとした場合の閾値を算出したところ、移動量は1秒あたり15cm、回転角度は30度であった。よって、これら閾値を超えたときにシステムが被験者に割り込むよう、割り込み条件として設定した。

4. 実験方法

本研究では、3章で述べた実験システムを用い、頭部運動に基づく割り込み実験を行った。実験は、被験者に2種類の作業課題を行わせ、その間の頭部運動と割り込み拒否度の収集を行った。

4.1 作業課題

一般的なデスクワークには、文具などを用いた事務作業のように、作業に集中していても頭部や上肢がある程度動く動的な作業と、一方で、本の読解や深い思索など、集中状態では頭部がほとんど動かない静的な作業があると考えられる。頭部運動と割り込み拒否度の関係を分析するうえで、一方の作業のみを対象とするよりも、動的・静的作業の両方に共通した頭部運動指標を抽出することができれば、より汎用性の高い拒否度推定手法の実現につながると考えられる。

そこで本研究では、動的作業課題として30cm×20cmの大きさと全ピースが白色のジグ

ソーパズル(以降、パズル課題)、静的作業課題に数学のペーパーテスト(以降、テスト課題)を選択した。パズル課題は、ほぼすべての作業時間において「ピースを探す・組合せを試みる」作業を繰り返し行うため、作業への集中度に関係なく頭部運動が検出される動的な作業と考えられる。一方、テスト課題は、問題文を読む・問題を解く(思考する)・解答を書き込むといった作業が主であるため、作業集中時の頭部運動は少なく、静的な作業と考えられる。

4.2 実験方法

実験は、3章で述べた実験システムにより行った。被験者は20代大学生・大学院生の男性10人とし、各被験者にパズル課題とテスト課題のみを1時間15分ずつ行わせ、タスク開始10分後から1時間の頭部運動と割り込み拒否度を記録した。収集した記録はパズル課題が10時間、テスト課題が10時間の合計20時間分である。

被験者への割り込み条件は、移動条件・上向き回転条件・回転条件と、動きのない状態が一定時間続いた場合の不動条件の4つとし、どれか1つを満たした場合にシステムから割り込みを行った。移動条件とは、前述の“1秒間で15cm以上頭部が水平運動した”場合に割り込むとし、上向き回転条件とは、集中度低下時に見られると予想された被験者の伸びなどの動作検出を目的として、“基準姿勢から1秒間で30度以上上を向いた”場合に割り込むとした。また、回転条件とは、上向き回転条件に含まれない回転であり、“1秒間で30度以上の上下左右に回転した”場合に割り込むとした。不動条件とは、上記3条件による“割り込みが120秒間発生していない”場合に割り込むとした。なお、頻繁な割り込みによる割り込み拒否度の上昇を防ぐため、最短割り込み間隔を60秒間とし、その間は割り込み条件を満たしても割り込みを行わないよう設定した。

また、被験者による割り込み拒否度主観評価値は、割り込み後「5分程度会話が発生する」と想定した場合の割り込みに対する拒否度を、“1:まったく問題ない, 2:問題ない, 3:どちらでもない, 4:嫌だ, 5:非常に嫌だ”の5段階で評価させた。被験者には、課題への過度な集中を避けるため、各課題の正答率・回答率・完成率に関する条件は課さず、課題を完成させる必要がないことを教示として与えた。これにより、被験者が課題中につねに集中し続けることなく、適度に集中状態を解くことを許容すると指示した。被験者間に課題中の小休止などで進度に個人差が見られたが、課題に取り組まない被験者は存在しなかった。

4.3 分析方法

作業中の頭部の位置や運動は、人の作業への集中度を反映すると考えられる。たとえば、作業集中時は“前傾姿勢となって作業対象を注視しながら”作業を行い、非集中時は“作業

対象から視線を外し、伸びなどを行っている状態が想定される。よって、割り込んだ瞬間の頭部位置や運動が割り込み拒否度へ影響を与えると推測される。そこで、本研究では、パズル課題 10 時間分・テスト課題 10 時間分のデータを対象として、システムで取得した 6 種類 (X 軸, Y 軸, Z 軸, Pitch 角, Yaw 角, Roll 角) の頭部運動パラメータを用いて、割り込み時の (1) 頭部位置・姿勢, (2) 頭部運動, (3) 運動履歴と、割り込み拒否度との関係をそれぞれ分析する。また、頭部運動には“方向”と“大きさ”があり、たとえば、前傾姿勢から後傾姿勢への運動は、集中状態から非集中状態への移行など、運動の方向によってその頭部運動の意味は異なると考えられる。さらには、同様の運動であっても、より大きく動いた方が拒否度への影響も大きくなると考えられる。よって、頭部運動の分析においては、運動の方向と大きさを考慮した分析を行う。

5. 実験結果と各頭部運動要素の影響の検討

本章では、デスクワーク中の頭部運動の発生と割り込み拒否度との関係を示した後に、頭部の位置と姿勢、頭部運動の方向と大きさ、運動履歴の 3 つの観点からの分析結果を示す。

5.1 実験結果

実験結果を表 1, 表 2 に示す。表 1 はパズル課題中の、表 2 はテスト課題中の、閾値以上の頭部運動が検出されなかったとき、回転・移動・上を向く動作の各検出頻度、それぞれの割り込み拒否度の平均値である。両課題に共通して、頭部が回転・移動した直後の拒否度の平均値は、頭部運動がなかった場合と比較して低いという傾向が見られた。移動時の拒否度は、両課題ともに不動時と比較して有意に低い ($p < 0.01$) ことが、 t 検定により確認された。回転時の拒否度に関しては、テスト課題においては不動時の拒否度より有意に低く ($p < 0.01$)、パズル課題においても統計的に有意ではない ($p = 0.6$) が、不動時よりも低い値を示した。

また、両課題ともに、移動の方が回転よりも拒否度が低く、両者の間に有意差 ($p < 0.01$) が確認された。ただし、回転は移動よりも検出頻度が高く、回転時の割り込み条件 (30 度) が閾値として低く、切れ目として不適切な割り込みが多く含まれていた可能性が考えられる。そこで、移動時割り込み条件と同程度の割り込み頻度となるよう、閾値を仮想的に 40 度へ上げた場合の拒否度との比較を行った。その結果、発生頻度は、回転がパズル課題 110 回、テスト課題 81 回、移動が 105 回と 71 回と、ほぼ同程度となったが、拒否度の平均値は、回転が 3.6 と 3.9、移動が 2.9 と 3.1 となり、やはり移動の方が有意に低い結果となった。

本実験では、パズル課題を動的課題、テスト課題を静的課題と扱ったが、両課題の総割り

表 1 パズル課題中の割り込み拒否度の分布

Table 1 Uninterruptibility during puzzle task.

		拒否度					合計	平均
		1	2	3	4	5		
割り込み条件	不動	5	2	15	41	25	88	3.9
	回転	2	24	45	76	36	183	3.7
	移動	13	29	30	20	13	105	2.9
	上向き	3	3	2	0	0	8	1.9
合計		23	58	92	137	74	384	3.5

(* : $p < 0.1$, ** : $p < 0.01$)

**
**

表 2 テスト課題中の割り込み拒否度の分布

Table 2 Uninterruptibility during examination task.

		拒否度					合計	平均
		1	2	3	4	5		
割り込み条件	不動	1	10	17	68	52	148	4.1
	回転	6	20	35	34	46	141	3.7
	移動	6	18	18	24	5	71	3.1
	上向き	0	0	0	1	0	1	4.0
合計		13	48	70	127	103	361	3.7

(** : $p < 0.01$)

**
**

込み回数にあまり差がなかったのに対し、不動時の割り込み回数はテスト課題でパズル課題の 1.7 倍であった。また、回転・移動による割り込み回数も、テスト課題はパズル課題の 0.7 倍となった。さらに、実際に割り込んだかによらず、課題中に回転・移動の割り込み条件を満たした回数を比較したところ、テスト課題の 344 回に対し、パズル課題では 669 回と 2 倍近い結果となった。よって、テスト課題はパズル課題と比較して静止状態が長く動きも少ない、静的な課題であったといえる。

また、拒否度の評価に関しては、割り込み条件によらずつねに評価値が高いなどの個人の性格による評価の偏りは確認されなかった。さらに、実験経過とともに評価値が上昇するような現象も見られず、実験後に被験者から割り込み頻度に関する報告もなかったことから、

先行研究と同様に、割り込み頻度が拒否度へ影響を与える度合いは十分小さかったと考えられる。本実験のタスクは1時間程度の短い時間であったが、長時間の実験を行う場合には、割り込み頻度を再検討し、条件を満たしても割り込まない時間をさらに増やすなどの配慮が必要となると予想される。

以上、頭部運動発生時は割り込み拒否度が有意に低下するタイミングである可能性が、実験的に示された。さらに、頭部運動の種類によって拒否度が異なる可能性が示唆された。運動の方向や大きさを考慮することで、より拒否度が低下するタイミングを推定できる可能性が考えられ、以下に分析結果を示す。

5.2 割り込み時の頭部位置・姿勢と拒否度

割り込み時の頭部の位置および姿勢と拒否度の関係を分析するため、図3に示すように、6種類の頭部運動パラメータと拒否度の散布図を作成し、分析を行った。両課題に共通して、Y座標と拒否度に同程度の正の相関関係が、Pitch角と拒否度に同程度の負の相関関係が認められた。頭部のY軸正方向位置は頭部の前方向位置であり、正のPitch角は上方向の注視姿勢を意味する。Y軸位置と拒否度の関係から、両課題において、被験者が前傾姿勢のときは拒否度が高く、逆に後傾しているときには拒否度が低い傾向が読みとれる。また、Pitch角から、基準姿勢より下を向いているときは拒否度が高く、上を向くほど拒否度が低くなる傾向が見られた。

各パラメータと拒否度との相関係数を表3にまとめる。分析の結果、頭部のY位置とPitch角において、両課題で同程度の相関が見られ、他のパラメータよりも拒否度との強い相関関係が確認された。一方、X位置やYaw角では課題によって相関の正負が逆転し、Z位置やRoll角においては課題間で相関値に差が見られた。これらは動的・静的作業のどちらかにのみ有効なパラメータか、作業環境や被験者間の個人差に特に影響を受けていたと推測される。たとえば、パズル課題においては、ピースを集めておく“山”の位置と実際に組合せ作業を行う“作業スペース”が被験者ごとに異なっており、テスト課題においては、問題文を右から覗き込む被験者と左から覗き込む被験者の2種類が存在した。左右方向に関係する特徴量は、そのような個人差の影響を受けやすいと予想される。一方、パズルとテストの両課題において、頭部のYすなわち前後位置と、Pitchすなわち上下方向角度に拒否度との相関が認められたことから、この2つの指標は作業内容によらない割り込み拒否度推定のための要素となる可能性が示唆されたといえる。

5.3 割り込み時の頭部運動と拒否度

割り込み直前の頭部運動の方向と大きさに着目し、頭部運動と割り込み拒否度との関係の

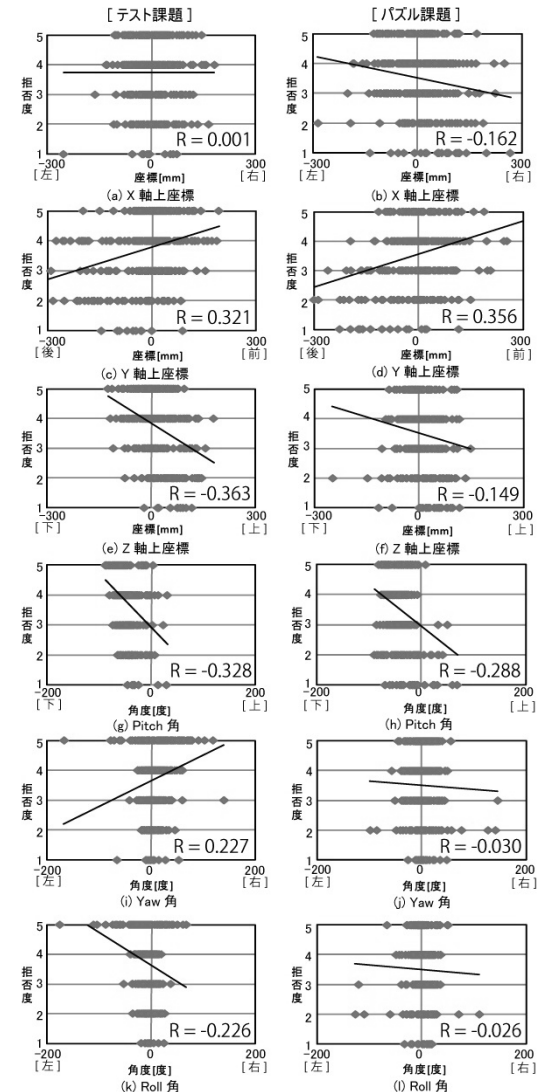


図3 頭部位置・姿勢と割り込み拒否度の関係
Fig. 3 Relationship between head position and unavailability.

表 3 頭部運動パラメータと拒否度との相関

Table 3 Correlation coefficients between head motion parameter and uninterruptedibility.

	X 座標	Y 座標	Z 座標	Pitch 角	Yaw 角	Roll 角
パズル	-0.162	0.356	-0.149	-0.288	-0.030	-0.027
テスト	0.001	0.321	-0.363	-0.328	0.227	-0.226

表 4 運動の方向と拒否度との相関

Table 4 Correlation coefficients between motion separated by direction and uninterruptedibility.

		パズル	テスト
X 軸移動	右方	-0.171	-0.210
	左方	-0.297	-0.269
Y 軸移動	前方	-0.343	-0.220
	後方	-0.504	-0.427
Z 軸移動	上方	-0.230	-0.347
	下方	-0.225	-0.295
Pitch 回転	上回転	-0.428	-0.391
	下回転	-0.350	-0.266
Yaw 回転	右回転	-0.039	-0.276
	左回転	-0.210	-0.336
Roll 回転	右回転	-0.160	-0.320
	左回転	-0.076	-0.333

分析を行った。頭部運動量の算出のためには、割り込みの瞬間の位置と、基準となる位置の差を求める必要がある。しかし、頭部の基準位置の一般的な定義は困難であり、また、1 サンプル前の位置では、すでに頭部運動が発生している可能性がある。

そこで本研究では、割り込み時の瞬時値と過去 15 秒間の平均値の差を求め、この差分と拒否度との関係を分析した。平均値算出区間は、過去 2 秒間から、5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 秒間と変化させて相関値を比較し、両課題において最も相関が強い結果となった 30 サンプル前、すなわち 15 秒間とした。

表 4 に、両課題における、各指標の過去 15 秒間の平均値との差分と拒否度との相関を示す。各指標は正負（運動の方向）ごとの相関を算出した。実験の結果、負方向（後方）への Y 軸移動時、正方向（上方）への Pitch 回転時において、他の指標と比較して、両課題で共

通して拒否度との相関が強くなる傾向が確認された。また、両指標とも、差分の大きさと拒否度との相関は負の相関となったところから、より大きく動いたときほど、拒否度が低下することが確認された。表 3 で示した、頭部位置・姿勢との相関と比較しても、両課題に共通して後方 Y 軸移動時・上方 Pitch 回転時と拒否度の間により強い相関が確認された。

以上の結果から、特に頭部が大きく後方へ移動したとき、または、上方へ大きく回転したときは、割り込みに対する拒否度が大きく低下する可能性があることが示唆された。頭部位置・姿勢を表す頭部運動パラメータよりも、頭部運動の方向と大きさを考慮する方が、より高い拒否度との相関が確認されたことから、運動の方向と大きさの反映が、拒否度推定に有効である可能性が示唆された。

5.4 頭部運動履歴の影響

これまでの分析により、頭部が大きく後方へ移動した・上方へ大きく回転した場合に、割り込み拒否度が大きく低下する可能性が高いことが確認された。一方で、瞬間的な運動だけでなく、それ以前からある程度頻繁に動いているなど、集中していない状態が続いている場合にも拒否度は低下すると予想された。そこで、割り込み 1 秒前から 10 秒前までの移動量の絶対値を積分し、拒否度との関係を分析した。積分期間は 1, 10, 15, 20, 30, 60 秒と変化させ、最も相関が強くなる 10 秒に設定した。ここで割り込み直前の 1 秒間を分析対象から除外したのは、実験システムにより割り込みと判断された直接の動きを除くことで、前節までの分析とは異なった、運動履歴に関する分析を行うためである。Y 座標・Pitch 角と拒否度との関係を図 4 に示す。

両指標とも、予想したように、過去の移動量が多いほど、拒否度が低下する傾向が見られた。しかし、相関係数の値は瞬時値による分析結果よりも小さく、積分時間を延長しても相関は強くならなかった。

6. 考 察

6.1 頭部運動の発生と拒否度の関係

表 1, 2 で示したとおり、頭部運動が発生した場合、頭部が動いていない場合と比較して、割り込みに対する拒否度が有意に低下することが確認された。特に移動時においては、動的作業と静的作業に共通した傾向が確認された。パズル課題においては頭部回転時と不動時の差が移動時よりも小さくなった。原因として、パズル課題では、集中状態であってもピースの置かれている場所とピースを組み合わせる場所との間の反復運動が必要となり、特に左右の回転が頻発したためと考えられる。頭部運動は作業内容や作業環境に影響を受けるため、

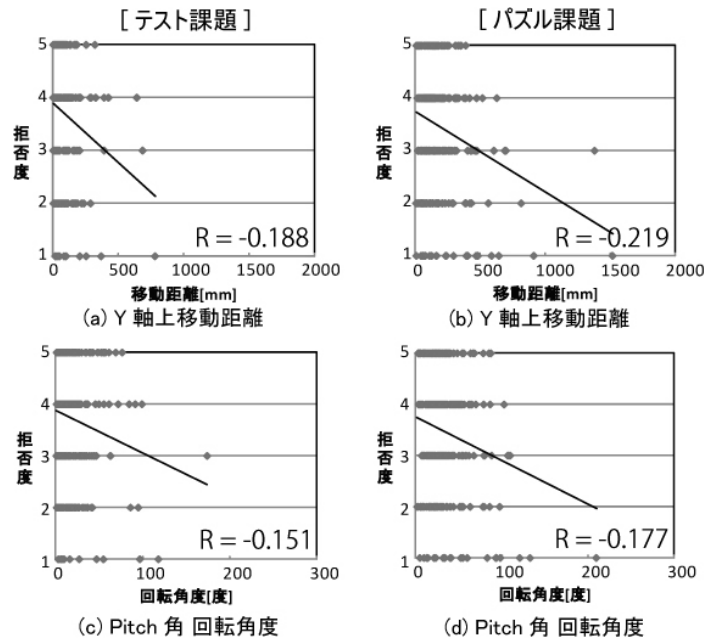


図4 頭部運動履歴と割り込み拒否度の関係
Fig.4 Relationship between head fluctuation and uninterruptibility.

その方向の考慮が必要であることを示唆する結果といえる。また、上向き運動による割り込み頻度は、他の割り込みと比べて特に少ない結果となった。上向き割り込み条件は、作業中の「伸び動作」を想定しており、基準姿勢からさらに上を向く動作の検出を試みたものである。両課題を通して発生頻度が少ないものの、拒否度平均値が2.1と他の割り込み時と比較しても低く、割り込みタイミングとして有効である可能性があるため、今後の検討が必要と考えられる。

分析により、頭部運動パラメータのうち、Y座標とPitch角の2指標において、課題で共通して拒否度との関連が確認された。頭部と作業空間との関係を考慮した場合、頭部の前後位置や姿勢によって拒否度に差が生じたことから、作業空間と頭部(身体)の距離や作業空間・対象を注視しているか否かは、作業への集中度を推定する要素の1つとなると推測される。さらに、Y座標やPitch角の数値よりも、それらが特定の方向へ変化するタイミ

ングと拒否度により強い相関が確認され、頭部が大きく後方へ移動したとき、または、上方へ大きく回転したときは、割り込みに対する拒否度が大きく低下する可能性が示唆された。頭部の前後移動は、姿勢の前傾・後傾、上下回転は手元への視線の近似値ととらえることができるため、被験者の作業への集中度の変化が、特定の頭部運動として表出されたと推測され、デスクワーク中の割り込み拒否度を推定する指標の1つとして、頭部の前後・上下回転運動が有効であると考えられる。運動履歴と拒否度との相関分析において履歴の傾向が弱くなった原因として、前述のような作業中の集中度に關係する頭部運動が否かにかかわらず、すべての頭部運動を履歴に含めて算出したためと考えられる。履歴と瞬時値の組合せの考慮も必要である。

以上から、頭部の後方運動・上方回転発生時は作業への集中度が低下し、割り込み拒否度が低下するタイミングである可能性が高いことが分かった。デスクワーク中に観測される頭部運動には、作業内容にともなう運動と、作業内容とは直接関係せず、ユーザの内部状態の表出としての運動の、少なくとも2種類が存在すると考えられる。本分析により抽出した前後運動・上方回転運動は、本来の作業の遂行に必要なではないため、これらの運動の発生タイミングは作業の切れ目であり、割り込みに適したタイミングとなる可能性が高いと考えられる。作業内容やタスク構造を分析し、作業の切れ目の推定を試みる研究^{16),17)}も行われているが、作業内容や環境に依存する点も多い。本研究では、テスト課題という特に思考をとまなうタスクを扱ったが、知的作業における拒否度推定に向けた頭部運動の有効性が確認された。これは深い思考状態などを検出可能ということではなく、そのような高拒否度状態から抜けたタイミングの検知が可能であることを意味すると考えられる。知的・非知的作業によらず、拒否度低下のタイミングを取得できることは、適切な割り込み制御を行ううえで有用であるといえる。また、頭部運動パラメータの絶対値の大小ではなく、一定方向への変化である運動・回転の指標を扱うため着座環境などの要因の影響を受け難いと考えられる。以上から、従来研究と比較し、“本来の作業の遂行に不必要な動作”の検出は、作業内容や環境に依存しない、汎用性の高い拒否度推定の実現につながると期待される。

6.2 作業中の割り込み拒否度推定法の検討

分析の結果、頭部の前後・上下回転運動を指標とした作業中の割り込み拒否度推定の可能性が示唆された。しかし、大きな運動がなかった場合でも、1~5の拒否度が存在しているため、両指標のみからの多段階拒否度推定は困難といえる。本研究で抽出した頭部の後方移動や上方回転は、作業中に観測される動きの中でも比較的大きな動きであり、これらは作業対象から逸脱する方向への運動であるため、作業内容や作業量にともなう運動とは異なり、

ユーザの作業への態度（集中度）低下を表していると考えられる。よって、先行研究にて行われている PC 操作量といった、作業中の作業量が同程度であっても、作業態度の違いから拒否度が異なる可能性が考えられる。作業量を示す指標と作業態度を示す指標を組み合わせることで、より精度の高い拒否度推定の実現が期待される。一方、テスト・パズル両課題中に頭部の細かな動きがつねに計測された。作業量が増えるほど、頭部の細かく規則的な動きが頻りに検出される可能性があり、作業量を推定する指標としての利用が考えられる。頭部の小運動発生頻度・規則性と作業量の関係の分析も必要である。

著者らは、先行研究として、PC 作業中のアプリケーション切り替え発生による割り込み拒否度低下に着目し、PC 操作ログのみからの、AS 時特徴数に基づく AS 時割り込み拒否度推定法の提案¹²⁾を行ってきた。しかし、適用対象を PC 作業に限定しており、オフィスワーク全体の推定に拡張する必要性が示唆された¹³⁾。本研究で得られた頭部運動指標を新たな作業時特徴として採用することで、推定精度の向上と対象作業の拡張の両立につながると考えられる。分析の結果、頭部の後方移動が拒否度と最も相関することが確認された。拒否度と相関する全指標を取得するのではなく、特に重要な指標を選別し、それに合わせたセンサを選択することで、Web カメラや赤外線センサなどの簡便なセンサを用いた頭部運動計測が可能となると考えられる。試験的に、PC モニタ上部に Web カメラを設置し、顔検出を応用した頭部 Y 座標取得システムを構築したところ、頭部の Y 座標とその変化である後方移動を指標として取得可能であることが確認された。また、会話の発生などの社会的要因、スケジュールやタスク量などの切迫感、部屋の雰囲気などの考慮が、オフィスワーク全体に推定対象を拡張するうえで今後検討していく必要があるといえる。

7. おわりに

本研究では、頭部運動の計測による割り込み拒否度の推定可能性の検討を行った。実験の結果、性質の異なる動的作業・静的作業の両課題に共通して、頭部運動が発生した場合は、割り込みに対する拒否度が有意に低下することが確認された。特に、作業中の頭部の後方運動と上方回転運動が発生した場合には、拒否度がより低くなることが確認された。今後の課題は、指標の組合せによる、より拒否度と相関の高い頭部運動指標の選定と、頭部の小運動と作業量の関係の分析、および、簡便なセンサ・手法による頭部運動検出方法の検討があげられる。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科特別教育研究費共生情報工学研究推進経費ならびに、独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) 委託研究「計算機利用履歴や環境情報を利用

した状況推定技術」によるものである。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) Bailey, B.P., Konstan, J.A. and Carlis, J.V.: The Effects of Interruptions on Task Performance, Annoyance and Anxiety in the User Interface, *Proc. INTERACT '01*, pp.593-601 (2001).
- 2) 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 大澤隆治, 岡田謙一, 松下 温: 作業者の集中度に応じた在宅勤務環境の提供: 仮想オフィスシステム Valentine, *情報処理学会論文誌*, Vol.39, No.5, pp.1472-1483 (1998).
- 3) 清水 健, 平田敏之, 山下邦弘, 西本一志, 國藤 進: 個人作業状況アウェアネス提供システムの構築と評価, 第 2 回知識創造支援シンポジウム, pp.78-85 (2005).
- 4) 水口 充, 竹内友則, 倉本 到, 渋谷 雄, 辻野嘉宏: デスクワークにおける忙しさの自動推定, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.6, No.1, pp.69-74 (2004).
- 5) 松田康弘, 倉本 到, 渋谷 雄, 辻野嘉宏: オフィス環境におけるタスクの時間制約による切迫感を考慮した「忙しさ」判定法, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.7, No.3, pp.409-416 (2005).
- 6) Chen, D., Hart, J. and Vertegaal, R.: Towards a Physiological Model of User Interruptibility, *INTERACT 2007*, Kingston, Ontario, Canada, LNCS 4663, Part II, pp.439-451 (2007).
- 7) Fogarty, J., Lai, J. and Christensen, J.: Presence versus availability: The design and evaluation of a context-aware communication client, *Int. J. Human-Computer Studies*, Vol.61, Issue3, pp.299-317 (2004).
- 8) Hudson, S.E., Fogarty, J., Atkeson, C.G., Avrahami, D., Forlizzi, J., Kiesler, S., Lee, J.C. and Yang, J.: Predicting Human Interruptibility with Sensors: A Wizard of Oz Feasibility Study, *Proc. SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems*, pp.257-264 (2003).
- 9) Takemae, Y., Ohno, T., Yoda, I. and Ozawa, S.: Estimating Interruptibility in the Home for Remote Communication Based on Audio-Visual Tracking, *Information and Media Technologies*, Vol.2, No.2, pp.592-600 (2007). reprinted from *IPSIJ Digital Courier* 3, pp.125-133 (2007).
- 10) 鷲見和彦, 田中宏一, 松山隆司: 3 次元姿勢計測を用いた人の動作特徴の記述, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004), Vol.1, pp.660-665 (2004).
- 11) 岩井祐介, 鷲見和彦, 松山隆司: 画像を用いた人の選択行動の興味度合推定, *ViEW2005* (2005).
- 12) 田中貴紘, 松村京平, 藤田欣也: アプリケーションスイッチに着目した情報提示タイミング制御のための作業履歴の分析, *情報処理学会論文誌*, Vol.50, No.1, pp.314-322 (2009).
- 13) 田中貴紘, 松村京平, 藤田欣也: 利用アプリケーション切り替え時に着目したユーザ

の割り込み拒否度推定法の検討, 人工知能学会論文誌, Vol.25, No.6 (2010).

- 14) 田中貴紘, 深澤伸一, 竹内晃一, 野中雅人, 藤田欣也: 業務従事者を対象とした PC 作業時の割り込み拒否度推定可能性の検討, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.12, No.3, pp.33-36 (2010).
- 15) 藤田欣也, 田中貴紘, 竹井浩介: デスクワーク中の割り込み拒否度の頭部運動からの推定可能性の検討, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009, No.1242 (2009).
- 16) Czerwinski, M., Cutrell, E. and Hirvut, E.: Instant Messaging and Interruption: Influence of Task Type on Performance, *Proc. OZCHI2000*, pp.356-361 (2000).
- 17) Iqbal, S.T. and Bailey, B.P.: Leveraging Characteristics of Task Structure to Predict the Cost of Interruption, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'06)*, pp.741-750 (2006).

(平成 22 年 6 月 28 日受付)

(平成 23 年 1 月 14 日採録)



木村 和行

2010 年東京農工大学情報工学科卒業。在籍中は、作業中の情報提示タイミング制御を目的とした、デスクワーク中の頭部運動と割り込み拒否度
の関係进行分析し、頭部計測に基づく拒否度推定可能性の検討に関する研究
に従事。



田中 貴紘 (正会員)

2006 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程修了。博士
(工学)。2007 年東京農工大学大学院共生科学技術研究院助教, 現在に至
る。知的エージェント, ヒューマンエージェントインタラクションに興味
を持ち, 人・場の空気を読むエージェントの研究に従事。人工知能学会
会員。



藤田 欣也 (正会員)

1988 年慶應義塾大学大学院理工学研究科修了。相模工業大学, 東北大
学医学部, 岩手大学を経て, 現在, 東京農工大学大学院教授。共有仮想空
間コミュニケーション, VR システムや感覚の遠隔共有等, 人と共生する
情報システムのためのヒューマンインタフェースの研究に従事。工学博士。