

利用アプリケーション切り替え時の 割り込み拒否度低下期間の検討†

田中 貴紘*・藤田 欣也*

本論文では、利用アプリケーション切り替え (focused Application-Switching: AS) 時の割り込み拒否度低下期間の検討を行った。まず、AS前後で人間の内部状態が実際に変化するか、また、どの程度の期間で変化するかの知見を得るため、NIRS (Near Infrared Spectroscopy: 近赤外分光器) を用いて、前頭前野のAS前後の脳活性化量を測定した。次に、NIRS実験結果に基づくユーザへの時間差割り込み実験を行い、AS後の経過時間によって割り込み拒否度が変化することを確認し、AS直後から高拒否度に至るまでの時間を検討した。実験の結果、割り込み拒否度低下期間は、2秒程度が目安になることが示唆された。

キーワード: 割り込み拒否度, NIRS, 利用アプリケーション切り替え, 忙しさ

1. はじめに

近年、インターネットの普及やユビキタスコンピューティング環境が整備されるに従い、ユーザが作業中であってもシステムから情報を随時提示される機会が増えてきている。しかし、情報提示タイミングや提示頻度にユーザの作業状況が適切に反映されず、提示情報の確認のためユーザは思考を度々中断されることで、情報システムが却ってユーザの知的生産性を低下させる可能性が懸念される。

作業中のユーザの状態を推定することで情報提示制御を行う研究には、いくつかの先行研究がある。キー入力やマウス操作などのPC操作量から、PC作業中のユーザの忙しさを推定する研究[1][2][3]では、ユーザのPC操作量が作業の忙しさに比例して高くなるような作業において、忙しさ推定への有効性が期待される。しかし、実際の作業には、外部から容易に観測可能な作業量の指標を伴わない、思考を主とする作業も存在するため、このような知的作業を考慮した忙しさを推定が望まれる。先行研究として、PC作業時の利用アプリケーション切り替え (focused Application-Switching: AS) に着目し、ASが知的作業を含めた作業の切れ目であり、ユーザの集中度が一時的に低下すると仮説を立て、PC作業履歴の収集・分析を行った[10]。その結果、AS時の割り込み拒否度は作業中と比較して有意に低く、ユーザに受け入れられ易いこと

が確認された。

しかし、本来、ASは次の作業を行うことが目的であるため、ユーザの作業への集中による割り込み拒否度はAS直後から徐々に高まると予想される。そのため、ASによる割り込み拒否度の低下は一時的な現象である可能性が高く、図1で示すように、ASの数秒後は逆に割り込みに適さないタイミングとなって、情報提示に遅延が生じた場合には、却ってユーザ作業を妨害することが懸念される。

そこで、本研究は、AS時の割り込み拒否度低下期間の検討を目的とする。まず、AS前後で人間の内部状態がどの様に変化するか、また、どの程度の期間で変化するかの知見を得るため、NIRS (Near Infrared Spectroscopy: 近赤外分光器) を用いて、人間の思考を司るとされる前頭前野のAS前後の脳活性化量を測定した[6][7][8]。次に、NIRS実験結果に基づくユーザへの時間差割り込み実験を行い、AS後の経過時間によって割り込み拒否度が変化することを確認し、AS

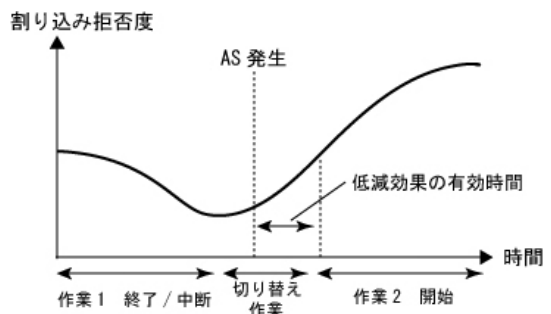


図1 ASによる拒否度低下効果の有効時間の概念図

† Discussion on Duration of Uninterruptibility Reduction at Focused Application-Switching
Takahiro TANAKA and Kinya FUJITA

* 東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology

直後から高拒否度に至るまでの時間を検討した。

本論文では、まず、関連研究とASに着目した情報提示タイミング制御について次章で述べた後、3章でNIRSを用いたAS発生前後の活性量の計測実験、次いで4章でAS後の時間差による割り込み拒否度変化の検証について述べる。さらに、5章で考察について述べた後、6章でまとめる。

2. 関連研究

これまで、ユーザコンテキストを利用してユーザの状態を推定する様々な研究が行われている。中でも、PCを使った作業における忙しさの推定方法としては、キー入力やマウス操作に基づく推定方法が提案されている[1][2]。これらの研究では、PCを使った作業において、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いる。また、PC作業に加えて、机上でペンを使用する作業までを対象とした研究も行われており[3]、ペンにセンサを取り付け、ユーザがペンを持っているかどうかを認識し、忙しさの推定に利用している。これらの研究では、ユーザの作業が外部から観察可能な物理的アクティビティを伴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。しかし、物理的アクティビティを伴わない知的作業を阻害しないことは情報提示において重要と考えられるため、いかに知的作業を含めたユーザの忙しさを推定するかは、ユーザの状態推定における一つの検討課題である。

また、種々多様なセンサを生活空間の中に遍在させ、そこから得られる情報を元にコンテキストの推測を行う研究[4][5]も、多数試みられている。マイクを使った会話の有無の検出や、カメラや加速度センサによるユーザの姿勢や移動の認識などは、ユーザの作業内容や忙しさの推定に有用な情報に成り得る可能性が高いが、ユーザに対して、センサを身体に装着する、あるいは利用環境にセンサを設置することを要求するため、システム導入に際してはコストに加えて心理的な障壁が予想される。さらに、これらの推定手法は、ユーザの行動を認識し状態を推定する点で共通している。一般に、行動認識から推定値の算出、そして情報提示や制御に至るまでにはある程度の処理時間が必要となるため、実際にシステムがユーザへ働きかけるタイミングは、当初ユーザが行動した時点より後となる。ユーザ状態推定研究における、推定結果の有効な利用期間に関しては余り議論されておらず、算出した忙しさなどの推定値が、システムが情報提示等を行う

際には実際の状態と異なっている可能性が懸念される。よって、推定精度のみならず、推定値の効果期間を把握することも、情報提示制御を行うために必要であると考えられる。

2.1 利用アプリケーション切り替え時に着目した情報提示制御のための作業履歴の分析

ユーザ状態推定に関する先行研究では、PC操作量等のアクティビティのみから、知的作業をも反映した忙しさを推定することは容易ではなかった。そこで著者らは、作業が一段落したときには、作業内容にかかわらず集中度が一時的に低下することで、割り込みに対する拒否度も低下する可能性が高いと予想し、利用アプリケーションの切り替え情報を作業の切り替わりと見なして、ユーザの割り込み拒否度とASの関連を実験的に検討した[10]。実験は、ユーザのPC操作履歴を収集し、AS発生時か同一作業継続5分ごとに被験者に割り込み、その時の割り込み拒否度を入力させるシステムを実装し、これを用いて行った。割り込み拒否度は、割り込み後5分間会話が継続と仮定した場合に、“1：全く問題ない”から“5：割り込まれたくない”の5段階で主観評価させた。また、被験者は大学生10名とし、研究室環境と自宅環境で計40時間分のデータを収集、分析した。

2.1.1 分析結果概要

AS時と作業継続(NAS)時の割り込みに対する拒否度を比較した結果を表1に示す。表1は、各拒否度の頻度と平均値を示したものである。NAS時の割り込み拒否度の平均値3.2に対してAS時の平均値は2.8となり、t検定の結果、AS時の割り込み拒否度がNAS時に比べ有意に低く($p < 0.01$)、AS時の割り込みは、NAS時に比べ拒否度が低くなるという予想を支持する結果であった。さらに、AS前のタスク継続時間が長いほど拒否度が低くなる傾向が見られ、特に、タスク継続時間が2分以上と2分以下の間に有意差が確認され($p < 0.01$)、頻度の低いASの方が作業の切れ目としての意味が大きく、特に2分以上継続して作業した後のASにおいて、割り込み拒否度の低下効果が大きいことが分かった。

また、先行研究では、NAS時を対象に、瞬時アクティビティ(キー入力数、クリック数、ホイール使用量の重み付き和)の積算値と割り込み拒否度の相関を、積算時間を5秒から5分の間で変化させることで調べた。その結果、数十秒程度の積算時間では、積算値が0であっても拒否度1~5が存在し相関が見られないのに対し、図2で示すように、5分程度の積算を

表1 AS時とNAS時の割り込み拒否度の比較

	拒否度					頻度	平均
	1	2	3	4	5		
NAS	7	14	22	20	12	75	3.2
AS	51	80	67	45	36	279	2.8

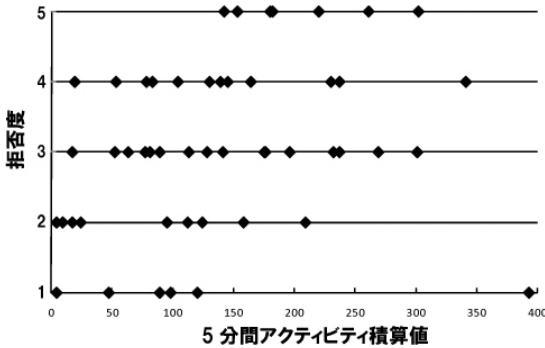


図2 5分間アクティビティ積算値と割り込み拒否度

行った場合は積算値0での高拒否度が減少し、アクティビティ積算値と拒否度に弱い正の相関関係が観察された。よって、瞬時アクティビティはNAS時のユーザの割り込み拒否度をある程度反映するが、思考等の影響を受けるため変動が大きく、数分程度の積算が必要であることを示唆する結果となった。すなわち、NAS時であっても、作業停滞時には拒否度が低下している可能性があるが、アクティビティ等の単純な指標では、作業の停滞と思考状態の識別が困難であるため、拒否度が高い思考状態を低拒否度と誤推定するリスクが高くなると考えられる。

これに対して、AS時割り込みであっても高い拒否度を示すものは存在するが、現在は分析をさらに進め、より拒否度の低いASを識別する可能性を確認している。しかし、本研究では、まだ確実なAS識別法が確立していないこと、割り込み可能な回数は多い方が望ましいことから、全ASを対象とする。容易に検出可能で、かつ拒否度の平均値が低いASを情報提示タイミングとすることで、ユーザの作業を阻害するリスクが完全には排除されないが、統計的にリスクの小さい情報提示が実現されると期待できる。

2.1.2 ASによる拒否度低下期間の検討

分析により、ASの利用は割り込みタイミング制御に有効であると言えるが、ASは作業の切れ目であると同時に、ユーザの作業始まりである可能性も高く、ユーザの作業に対する集中度や作業量はAS直後から徐々に高くなると考えられる。よって、ASによる割

り込み拒否度低下効果は一時的なものと予想される。特に、長い時間タスクを継続し、作業への集中度合いが下がっている場合に比べ、作業を開始して暫くはユーザの集中度合いは高いと考えられ、ASの数秒後は逆に割り込みに適さないタイミングとなり、推定から割り込みまでの遅延や情報提示方法によっては、AS発生タイミングでの割り込みであっても、却ってユーザの作業を阻害する可能性が懸念される。そこで本研究では、ASを利用した割り込みタイミング制御のための、AS発生後の割り込み拒否度低下期間を検討するため、まず、NIRS(Near Infrared Spectroscopy：近赤外分光器)を用いて、ユーザのAS前後の脳活性量を測定し、分析を行う。

2.2 NIRSを用いた脳機能測定

本研究では、ASによる割り込み拒否度低下効果の有効時間を検討するため、NIRSを用いて脳の活性量の計測を行った。NIRSは、近赤外光を用いて頭皮上から非侵襲的に脳機能マッピングする装置であり、血液中の酸化型・脱酸化型の2種類のヘモグロビン(Hib)を主な計測指標として、その変化量から毛細血管と神経細胞との酸素のやりとりに伴うヘモグロビン動態など酸素交換反応を計測することができる。一般的に、脳細胞が活性化するためには酸素が必要となるため、脳の活動時には血流量が増加し、酸化ヘモグロビン量も増加する。よって、NIRSにより血液中の酸化ヘモグロビン量を計測し、その増減から脳の活性が分かる。

人間の思考を司るとされる前頭前野をNIRSにより計測を行った研究として、テストによる知的生産性改善評価への利用[7]や、心的負担度を評価しインタフェースの定量的評価を試みる研究[8]などが挙げられる。本研究でも、PC作業時の知的作業も考慮した割り込み制御を目標とすることから、NIRSによる前頭前野部の計測を行う。また、NIRS計測の活用に関しては、測定した値が相対値であるため、測定結果をそのまま個人間で比較するのではなく、被験者群間で行う必要があるとも指摘されている[7]。これを踏まえ、本研究でも、被験者ごとに酸化ヘモグロビン変化量の計算を行い、AS前後の活性量と増減傾向の分析を行う。

3. NIRSを用いたAS前後の脳活性量の計測

先行研究[10]において、AS時にはユーザの集中度が一時的に低下すると仮説を立て、PC作業履歴の収集・分析を行った結果、AS時の割り込み拒否度は作

業中と比較して有意に低いことが確認された。そこで本研究では、まず、AS時の脳活性化量をNIRSにより計測することで、AS前後において、一時的な脳活性化量の変化が見られるか分析を行う。さらに、4章で述べるAS後時間差割り込み実験において、実験条件とする「割り込みの時間差」の設定に関する知見を得ることも目的とする。

3.1 実験方法

実験は、5×3個の測定用プローブを被験者の前頭部付近に装着し、22チャンネル分の酸化ヘモグロビン及び脱酸化ヘモグロビン量の増減を測定した。被験者は、大学教員2名と大学生6名の成人男性8名、全員が右利きである。測定には島津製作所のFOIRE-3000を用いた。図3に実験の様子を示す。また、本実験は倫理委員会の承認を得て行った。

(i) タスク

実験は、PC上で異なる2種類のタスク(パズル)を同時に行わせ、タスク中の脳活性化量を計測した。与えたタスクはクリックのみで操作でき、また、それぞれが独立したアプリケーションである。

被験者は、2つのタスクを交互に切り替えながら行うが、タスク達成や行き詰り等の作業進行・集中度の変化による自然なAS発生とその時の脳活性化量の変化を観測するため、タスクを行う順番や切り替えるタイミング・回数についての制限は設けず、任意のタイミングで行わせた。また、実験時間中に両タスクを完了しなくても良いと教示を与えた。タスク切り替え(AS)は、それぞれのウィンドウをクリックし、アクティブ化することで行わせた。ASが発生した瞬間に、タスク実行用PCからNIRS装置へ信号を送り、その時刻も併せて記録した。

本実験における、2つのタスクは、共通して論理的



図3 NIRS実験の様子

思考を特に必要とすると考えられるため、本研究では、論理的推論機能に関する部位[6]とされる、前頭部左下の部位(ch17, ch18, ch22)の内、ch18(被験者によってノイズが発生した場合はch22)の測定値を対象として分析を行った。予備実験により、該当部位に当たるch17, 18, 22は同様の変化を示すことを確認している。また、2つのタスクにおいて、該当部位の活性・不活性化が観測されるかを検証したところ、両タスクで共通して活性化し、レスト・タスクを通じて同程度の反応が見られることも確認している。なお、本実験では、両タスクを実験時間内に完了した被験者はおらず、片方のタスクを完了できた被験者も僅か2名であった。タスク難易度に関しては「難しい」と報告も受けており、両タスクは、被験者にとって、負荷の高いものであったと言える。

(ii) 実験の流れ

実験の流れは次の通りである。まず、被験者には、実験前日に実験内容の説明と、2つのタスクの練習を実験と同様の時間・手順で行わせた。これは、本実験において、タスクやアプリケーションの操作に不慣れなことが、測定結果に影響を与えないためである。

実験は、“10分間のタスク実行後、1分間のレストを取る”を1セットとし、4セット分繰り返し行い平均を取ることとした。これは、同一タスクを行っても、脳は毎回少しずつ異なる活性を示すためであり、また、測定時間が長くなり過ぎると、被験者の疲労が測定値に影響するため、繰り返し回数を4回とした。これは、先行研究にて広く行われており、本研究でもこれに倣い、採用した。2セット目は、1セット目のタスク終了時の状態から再開することとした。レストは、何も考えずに黒い背景に白い十字を表示させたPC画面を見つめ安静にさせた。

3.2 実験結果

3.2.1 AS前後の活性化量の変化

まず、AS前後における活性化量の変化を調べるため、ASの前後30秒間のch18(またはch22)における酸化ヘモグロビン量の増減の分析を行った。これは、他の要因をできるだけ排除し、AS発生1回分の活性化量の変化を分析しやすくするためである。

まず、前処理として、ベースラインを補正し、疲労や血流集中などによる広範囲なドリフト的アーティファクトを除去するため、該当チャンネルの信号は、全チャンネルにわたる平均によって再基準化した。この方法は、局所的な応答を抽出するため脳波の分析においてよく用いられており[11]、また独立成分分析を用いて大局的なアーティファクトを除去する方法[12]の意

図にも共通するものがある。NIRS信号におけるこれらのアーティファクト除去の有効性は、[13]で検討されている。分析対象とするASは、前後30秒以内に他のAS発生やレストが存在しないものとした。分析は、活性量の秒単位の増減傾向を分析し易くするため、該当するASの前後30秒分の測定値に9点移動平均(約1秒)をかけ、AS発生時刻を基準とした加算平均を取った。これを被験者ごとに行った。但し、被験者8名中、レスト中であっても活性量が低下せず、タスクとレストのコントロールができなかった1名を除いた、7名分の測定結果を分析対象とした。

各被験者の対象AS回数を表2に示す。また、AS前後30秒間の分析結果の一部を図4に示す。図4は被験

表2 被験者ごとの対象AS回数

被験者	A	B	C	D	E	F	G
AS回数	4	12	9	4	7	18	10

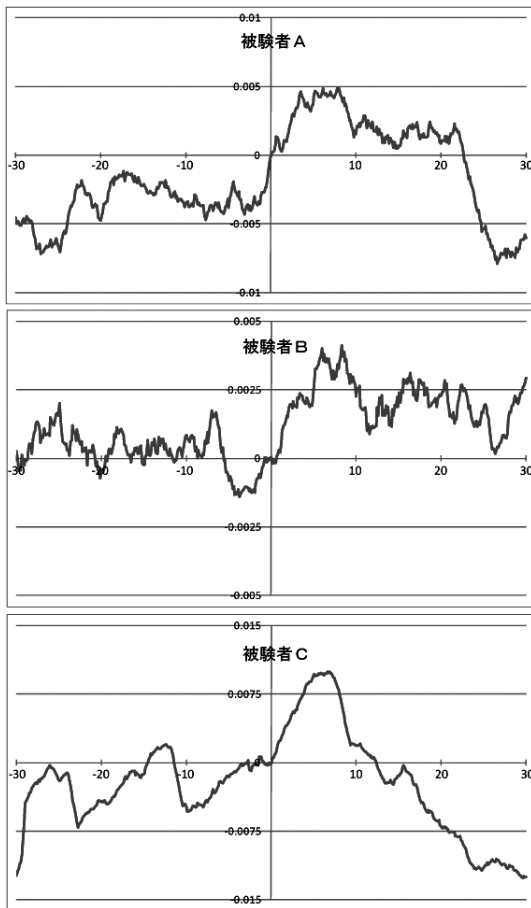


図4 AS前後30秒間の活性量変化例
(原点：AS発生時刻)

者A・B・CのAS前後の変化である。分析の結果、被験者に共通して、AS前後で脳活性量の増減傾向が変化しており、AS直後、またはASの数秒前から活性量が上昇し、数秒後にピークを迎えるという特徴が見られた。増減量やピークに至るまでの時間は被験者ごとに異なっており、個人差が見られた。

分析結果から、AS発生の前後において、脳活性量は一時的に変化すると考えられる。一概に、脳活性量の高低と被験者のタスクに対する集中度が関係するとは言えず、また、本研究で取り扱うことではないが、この変化が、先行研究[10]において、AS時の割り込み拒否度がNAS時と比較し有意に低くなった結果に関係があると推測される。ASにより割り込み拒否度が低下する時間とは、タスクを切り替えようと考えてから、またはタスクを切り替えてから、切り替え後の作業に関する活動量が一定以上に増加するまでの遅延時間ではないかと考えられる。活性量が一定値以上増加するまでに要する時間には個人差があるが、AS時の割り込みは、増加途中での割り込みであるため、増加後に比べ拒否度が低くなったと考えられる。そこで、本研究では、AS前後の活性量の変化量に着目し、ASを挟んだ活性量のベースラインからピークに至るまでの時間を検討した。

3.2.2 時間差割り込み実験に向けて

前節で述べた分析結果を元に、AS前後の活性量の増減傾向が変化する点を元に、活性量がベースからピークに至るまでの時間を検討する。これは、AS発生時刻からピーク到達までの時間が、AS時の割り込み拒否度低下期間を検討するための時間差割り込み実験において、どの程度の時間差を設けるべきかの参考になると考えられるためである。

まず、AS前後30秒間を対象として、1点分(130ms)の活性量の微分値を計算する。次に、増減傾向を得るため、27点移動平均(約3秒)をかけ、グラフを作成する。図4の被験者CのAS前後活性量のグラフに、活性量の微分値をプロット(破線)したグラフを図5に示す。図5は、増減傾向が見やすいよう20倍した微分値を示している。最後に、増減傾向が変化する(正から負、負から正)横軸との交点を元に、AS発生時かそれ以前の交点を活性量のベース、ASより後の交点を活性量のピークとし、ベースとピーク間の時間を拒否度変化時間とした。被験者ごとの拒否度変化時間を表3にまとめる。拒否度変化時間(B-P間)は平均10.1秒、ベースからASまでの時間(B-AS間)は平均4.7秒、ASからピークまでの時間(AS-P間)は平均5.4秒であった。ASによる割り込み拒否度低下期間は、最長でも

AS発生後からピーク到達までのAS-P間と予想される。AS前からAS後にかけての活性量の変化に着目したところ、図4のように数秒程度の線形的な変化が観察されたことから、表3で示した各区間の時間を元に、ベースからピークまでの区間における活動量の変化を線形近似し、活性量の50%~100%に到達するまでの時間を算出した。被験者ごとの各到達時間と平均時間を表4に示す。AS発生時点での活性量は、平均でピークの46.6%であった。また、ASの2秒後にはピークの70%、4秒後には90%に到達している。

NIRS実験により、AS前後において、脳活性量に一時的な変化が見られ、AS後の経過時間によって活性量が増加しピークに至るといった知見が得られた。ピーク到達までの潜時は2秒~7秒という結果から、拒否度低下効果は数秒程度で消失すると推測された。そこで、この結果に基づく時間差割り込み実験を行い、拒否度低下期間の検討を行う。

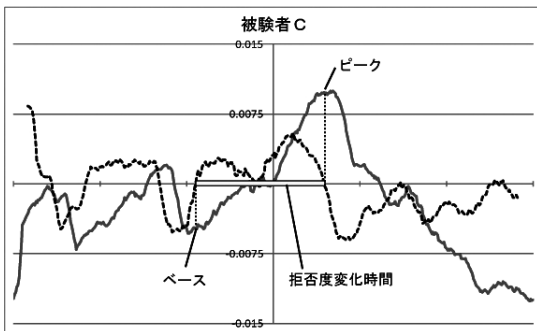


図5 活性量の増減傾向と拒否度変化時間
(実線：活性量、破線：活性量の微分値)

表3 被験者ごとの拒否度低下時間

		B-P 間	B-AS 間	AS-P 間
被験者	A	7.5	2.6	4.9
	B	10.4	3.4	7.0
	C	14.8	9.0	5.9
	D	10.4	7.4	3.0
	E	12.0	9.2	2.7
	F	7.2	0.1	7.0
	G	8.6	1.3	7.3
平均		10.1 秒	4.7 秒	5.4 秒

表4 各活性量までのASからの到達時間

		50%	60%	70%	80%	90%	100%
被験者	A	1.2	1.9	2.7	3.4	4.2	4.9
	B	1.8	2.9	3.9	4.9	6.0	7.0
	C	-1.6	-0.1	1.4	2.9	4.4	5.9
	D	-2.2	-1.2	-0.1	0.9	2.0	3.0
	E	-3.3	-2.1	-0.9	0.3	1.5	2.7
	F	3.4	4.2	4.9	5.6	6.3	7.0
	G	3.0	3.8	4.7	5.6	6.4	7.3
平均		0.3 秒	1.4 秒	2.4 秒	3.4 秒	4.4 秒	5.4 秒

4. AS後の時間差による割り込み拒否度変化の検証

NIRS実験により、AS後の時間に応じて活性量は増加し、数秒程度でピークに至ると推測された。よって、AS後はできるだけ遅延のない割り込みが望ましいと考えられる。そこで、NIRS実験で得られた知見に基づき、AS後の割り込みに2~6秒の時間差を設け、実際に被験者に割り込んだ時の割り込み拒否度を収集し、検証を行うことで、ASによる割り込み拒否度低下期間の検討を行う。

4.1 実験方法：作業履歴と拒否度の収集

日常的な環境でPCを使用した時の作業履歴と、ユーザが評価した割り込み拒否度を収集し、分析を行った。実験では、被験者のPC操作ログを自動で抽出し保存する実験用システムを構築し、情報工学系の20代学生8名と30代大学教員・職員5名の合計13名を被験者とし、それぞれPCを1時間以上使用させて作業履歴の収集を行った。作業履歴データは、15時間分を収集した。被験者には特に課題を与えず、PC使用目的についても制限を設けなかった。

4.1.1 作業履歴の収集

実験用に作成した作業履歴収集システムの構成を、図6に示す。実験システムが収集する作業履歴は、キー入力数、マウスクリック数、ホイール回転数、アクティブウィンドウ、そして割り込み拒否度の5種類である。アクティブウィンドウは、ユーザによって選択されているウィンドウの名前であり、本研究では、アクティブウィンドウの変化を、ユーザによる利用アプリケーションの切り替わりと見なした。実験システムは、ユーザのキー操作やマウス操作を常にモニターし、0.5秒ごとに操作量を作業履歴として記録した。

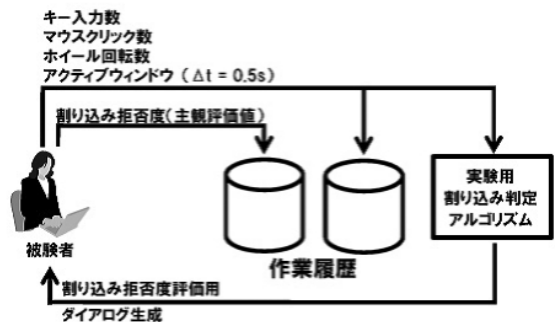


図6 作業履歴収集システムの構成

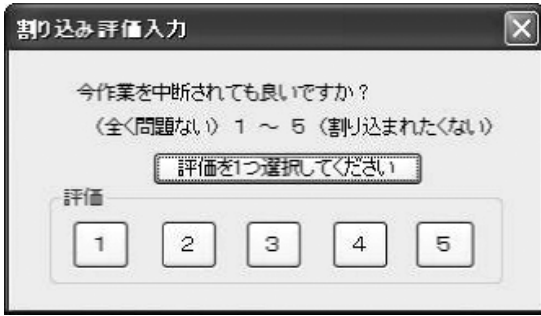


図7 割り込み拒否度の取得ダイアログ

4.1.2 割り込み拒否度の収集

実験システムは、後述するルールに従って被験者に対して割り込みを行い、図7に示す割り込み拒否度取得ダイアログを用いて、その時点での割り込み拒否度を被験者に入力させた。割り込み拒否度は、割り込み後5分間会話が継続と仮定した場合に、“1：全く問題ない”から“5：割り込まれたくない”の5段階で主観評価させた。

実験システムによる割り込みルールは、被験者のアプリケーション切り替えによるAS発生時に、AS直後、ASから2秒後、4秒後、6秒後の4種類からランダムで選択し、割り込みを行うこととした。ASから2秒～6秒後の各割り込みは、AS発生を認識した直後から時間を計測し、規定の待機時間が経過した後、割り込みを行う。割り込み待機中に再度ASが発生した場合は、AS後の経過時間をリセットし、再度、規定時間待機させ割り込みを行った。また、頻繁に割り込むことが拒否度の評価に影響を及ぼさないように、一度割り込みを行った後30秒間は、割り込みを行わないよう制御した。入力された割り込み拒否度は、他の操作ログと併せてファイルに自動保存した。また、被験者には割り込みタイミングについての教示を一切与えず、プログラムが割り込み拒否度の入力を要求した場合に、その時の拒否度を入力するよう指示した。15時間分の作業履歴により、184回分のASを収集した。拒否度は、各人の作業の緊急性・重要性・コンテキストに影響を受けると考えられるが、本実験では、作業中の割り込みに関する説明を受け、承諾を得られた被験者のみを対象とし、また、1時間程度の実験時間であることから、拒否度に大きく影響を与えるような、緊急性や重要性、コンテキスト変化等は確認されなかった。

4.2 実験結果

AS後の割り込みタイミングによる拒否度の比較を

図8に示す。また、図9に、各割り込みタイミングに占める、拒否度の割合を示す。

AS直後で割り込んだ場合の平均拒否度は2.7であり、先行研究として表1で示したAS平均値と比較しても同程度の値であった。AS直後から、2秒・4秒・6秒と時間が経つにつれ、平均拒否度も2.9から3.3へと徐々に高くなる結果となった。4秒後、特に6秒後は、表1で示したNAS時の割り込み拒否度と同程度であった。また、図9で示す通り、AS直後と比較して、全体に占める拒否度1・2の割合が減少し、4・5の拒否度が多く見られるよう変化している。

割り込みタイミングを要因とした、1要因分散分析(自由度3)を行ったところ、F値が2.69となり有意差(1%有意)が確認された。そこで、LSD法にて多重比較を行ったところ、AS直後と4秒後の間で5%有意、AS直後と6秒後の間で1%有意が確認された。さらに、AS後2秒以内の群とAS後4秒以降の群の間でt検定を行ったところ、t値が-2.60となり有意差(p<0.01)が確認された。実験後、被験者からは、“切り替えた後、やるぞと思っているときに割り込まれ嫌だった”、“切り替えて少し時間が経つと、作業を始めていて邪魔だった”、“余りに切り替え直後の割り込みだと、忙しい感じがする”、といった内観報告が得

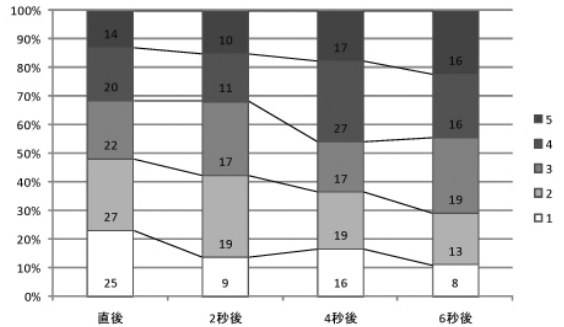


図8 AS後の割り込みタイミングによる拒否度の比較

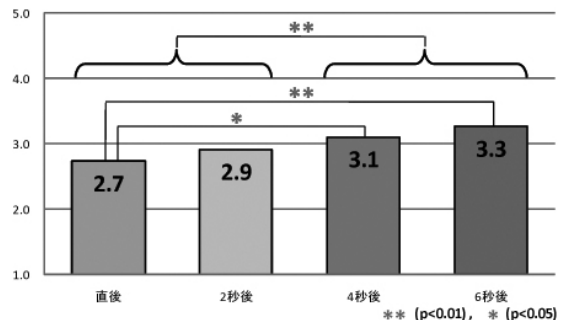


図9 各タイミングに占める拒否度の割合

られた。殆どの被験者は、AS後に割り込みが発生すること、ASから割り込みまでの時間に違いがあることに気付いたが、割り込みタイミングが4種類であることに気付いた被験者は居なかった。

5. 考察

5.1 ASによる割り込み拒否度期間の検討

表3、表4に見られるように、脳活性量はAS発生から平均5.4秒でピークに到達している。必ずしも「脳活性量が高い状態＝集中状態」とは言えないが、被験者がタスクを開始することで活性量が増加し、レストで減少していることから、知的作業を含むユーザの作業量が増加すると、脳活性量も増加すると推測される。そのため、AS後にユーザの作業・集中が進むことでASによる割り込み拒否度低下効果は一時的である、との予想を支持する結果となった。

また、AS発生時点での活性量がピークの47%程度であったことから、被験者がアプリケーションを切り替える前の段階から、次のタスクへ被験者の意識が移り、知的作業・集中が徐々に開始している可能性が考えられる。今回のNIRS実験では、課題に時間制限を課したことから、被験者は日常的なPC作業よりも持続的に集中度が高い状態にあったと考えられるが、AS発生時点で活性量がピークに到達していた被験者は居なかった。これは、AS発生時刻は、次の作業への過渡期にあることを意味すると解釈され、そのために、先行研究[10]において、作業中と比較してAS時の割り込み拒否度が有意に低くなったと考えられる。拒否度変化期間や活性量の変化量には個人差があるため、NIRS実験の結果のみからAS発生時の拒否度低下期間を議論することは困難であるが、ASの2秒後でピークの70%に到達することから、割り込み拒否度低下効果は、数秒のオーダーで消失する可能性が高いと考えられる。

AS後の時間差割り込み実験における、AS直後の割り込み拒否度は平均2.7であり、他の割り込みタイミングと比較して最も低い結果となった。この値は、表1で示した先行研究[10]の実験結果と同程度の拒否度であることから、妥当な結果と考えられる。さらに、ASから2秒後、4秒後、6秒後と、AS発生から時間が経過するにつれ拒否度が上昇した点は、NIRS実験で得られたAS後の活性量の増加と一致している。NIRS実験では、AS直後はピーク活性量の活性量47%程度であり、2秒はピーク活性量の70%程度に到達するまでの平均時間に相当する。一方で、4秒後はピークの90%程度に到達するまでの時刻であり、6秒後はピーク到達以降に相当する。本実験では、4秒後と6

秒後の拒否度は、共にAS直後に対し有意に高く、平均値3を超えている。これは、表1で示したNAS時の割り込み拒否度平均と同程度であることから、被験者は4秒後には既に作業に集中しており、ASによる拒否度低下効果が失われた結果と解釈される。NIRS実験でのピーク到達時間は平均で約5秒という結果であったが、90%の活性量である4秒後の時点での割り込みであっても、ピーク時と同様に高い拒否度を示したことから、割り込みが許容される時間は更に短くなるものと見られる。今回の時間差割り込み実験では、AS後2秒以下の割り込み拒否度の平均値が2.8であり、AS後2秒以下と4秒以上の拒否度の間に有意差が確認されたこと、AS直後と4・6秒後の間にはそれぞれ有意差が確認されたこと、また、AS直後と2秒後の間には有意差が見られなかったことから、ASによる割り込み拒否度低下期間は、2秒程度が目安になると考えられる。

以上から、ASは、前の作業から次の作業へワークスペースが移り、ユーザの意識が次の作業に移行する途中段階にあるため、作業時に比べて割り込みに対する拒否度が低くなったと考えられる。また、ASによる割り込み拒否度の低下は一時的な効果であり、その効果期間はAS後2秒程度と見られる。また、一般には、割り込み拒否度には、性差や職業、環境などが影響する可能性が考えられる。ただし、本研究はPC作業のみを対象としており、PCで可能な作業や利用方法はシステムによって限定されるため、利用者によって極端に利用方法が異なるとは考えにくい。したがって、職種や性にかかわらず、割り込み拒否度は今回の結果とある程度共通した傾向を示すものと予想される。

本論文では、ASを一つの群として扱ったが、作業を終了してウィンドウを閉じる場合や、コピー&ペーストのように複数アプリケーションに跨った作業など、様々な種類のASが存在する。それぞれ、発生時の活性度が異なる可能性があり、また、AS時の活性度の高低が割り込み拒否度に影響を与える可能性も考えられる。今後、割り込み拒否度推定を行うに辺り、単位時間当たりのAS頻度や切り替え情報(アプリケーションの終了信号など)の利用による推定精度向上の可能性が期待される。また、NIRS実験の結果から、ASを検出して割り込むよりも、可能であればAS発生を予測し、AS直前に割り込む方がよりユーザに受け入れられる可能性も考えられる。著者らは、AS直前の瞬時アクティビティと拒否度の関係を分析したが、相関は確認できなかった。AS発生予測には、ユーザの姿勢や視線、動きなどのPC外情報の利用なども考

えられ、今後の検討が必要である。

5.2 共生情報システムの実現に向けて

人と共生する情報システムの実現のためには、システムからの割り込みによってユーザの作業を阻害しないことが望まれる一方で、遅滞なく外部情報を提示することも必要である。すなわち、情報提示タイミングの適切な制御が重要になる。さらに、分かり易くユーザの邪魔にならないことなど、情報提示方法に関する要求も存在する。

前者の情報提示タイミングに関しては、割り込み拒否度の推定精度は、システムによるユーザ作業阻害の可能性に直結する。その回避のためには、割り込み拒否度の推定精度の改善が重要である。本研究のASを利用した割り込み制御においても、ユーザの割り込み拒否度推定精度の向上のためさらなる分析[14]を続けており、前節で述べたような、AS頻度や他の切り替え情報との併用による精度向上を検討している。

分かり易く・ユーザの邪魔にならない情報提示を実現するには、推定時からの遅延時間を考慮し、情報システムが情報提示に利用可能な時間を検討することも重要であると考えられる。本研究のASを利用したユーザ割り込み拒否度推定では、AS後2秒程度が推定値利用の目安と見られた。NIRS実験の結果を考慮すると、他の推定手法を用いた場合にも、やはり推定値の有効期間は数秒程度と予想される。ユーザの行動が発生してから、情報システムが行動を認識して割り込み拒否度を推定し、割り込み可能と判断して実際に情報を提示するまでには遅延が生じるため、実際に情報提示に利用できる時間は、2秒よりさらに短い時間になると予想される。外来情報提示システムの設計に際しては、ユーザの邪魔にならないだけでなく、短時間の提示でも理解可能な分かり易い情報提示である必要がある。そのためには、直観的な情報提示法の検討や、有効時間内に読み取り可能な情報量への考慮などが望まれる。

6. おわりに

本研究では、ASによる割り込み拒否度低下期間を検討するため、NIRSを用いた脳活性化計測実験を行った。実験により、ASは次作業への途中段階に相当し、AS後平均5秒程度で活性量のピークに到達することが分かった。更に、NIRS実験により得られた知見を元に時間差割り込み実験を行ったところ、AS後2秒以下の割り込みと4秒以上の割り込みで有意差が確認され、ASによる拒否度低下期間が2秒程度であることが示唆された。今後は、人の知的活動を阻害

しない共生情報システムの実現に向け、拒否度推定精度の改善と平行して情報提示法に関する検討とシステム開発を進める計画である。

謝辞

NIRSを用いた実験を行うに当たり、ご助力・ご助言を頂いた野澤孝之特任助教に、この場を借りて感謝する。また、本研究の一部は、文部科学省特別教育研究費共生情報工学研究推進経費、及び、科学研究費補助金(21700130)によるものである。ここに記して感謝する。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 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”, 第二回知識創造支援シンポジウム, pp.78-85, (2005).
- [3] 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).
- [4] S.E. Hudson, J.Fogarty, C.G. Atkeson, D.Avrahami, J.Forlizzi and S.Kiesler, “Predicting Human Interruptibility with Sensors : A Wizard of Oz Feasibility Study”, Proc. of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, pp.257-264, (2003).
- [5] J.Lester, T.Choudhury, N.Kern, G.Borriello and B.Hannaford, “A Hybrid Discriminative / Generative Approach for Modeling Human Activities”, Proc. of IJCAI-05, pp.766-772, (2005).
- [6] 酒田英夫, 外山敬介, “脳・神経の科学2 脳の高次機能”, 岩波書店, (1999).
- [7] 宮城和音, 近藤佑樹, 榎本健治, 石井裕剛, 下田宏, 岩川幹生, 寺野真明, “パフォーマンステストによる知的生産性改善評価時のNIRSを用いた脳活動計測”, 第47回ヒューマンインタフェース学会研究会, Vol.10, No.1, pp.149-154, (2008).
- [8] 宮川道夫, 新井直樹, 前田義信, “インターフェース手法の定量評価を目的とした前頭前野のNIRS計測”, ヒューマンインタフェースシンポジウム2007, No.3231, (2007).
- [9] 田村博, “文字入力・表示文字探索に関わる脳内反応のNIRS解析”, ヒューマンインタフェースシンポジウム2007, No.1223, (2007).
- [10] 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).
- [11] Benar, C., Schon, D., Grimault, S., Nazarian, B., Roth, M., Badier, J., and Marquis, P., “Single-Trial Analysis of Oddball Event-Related Potentials in Simulta-

- neous EEG-fMRI”, *Human Brain Mapping*, 28, pp.602-613, (2007).
- [12] Kohno, S., Miyai, I., Seiyama, A., Oda, I., Ishikawa, A., Tsuneishi, S., Amita, T., and Shimizu, K., “Removal of the skin blood flow artifact in functional near-infrared spectroscopic imaging data through independent component analysis”, *Journal of Biomedical Optics*, 12, pp.062111-1-9, (2007).
- [13] Nozawa, T., Kondo, T., “A comparison of artifact reduction methods for real-time analysis of fNIRS data”, *HCI International 2009*, (2009).
- [14] 松村京平, 田中貴紘, 藤田欣也, “情報提示タイミン

グ制御のためのユーザ履歴に基づくユーザ状態推定方法の検討”, *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008*, (2008).

(2009年2月16日 受付)

(2009年6月8日 採録)

[問い合わせ先]

〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16

東京農工大学

田中 貴紘

TEL: 042-388-7928

E-mail: takat@cc.tuat.ac.jp

著者紹介



田中 貴紘 [非会員]

2001年名古屋工業大学工学部知能情報システム学科卒業。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。知的エージェンツ,ヒューマンエージェンツインタラクティブ,オンラインコミュニケーションに興味を持つ。人工知能学会,情報処理学会 各会員。



藤田 欣也 [非会員]

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など,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。

Discussion on Duration of Uninterruptibility Reduction at Focused Application - Switching by

Takahiro TANAKA and Kinya FUJITA

Abstract :

In this paper, we experimentally discuss the duration of uninterruptibility reduction effect at focused Application-switching (AS) using Near Infrared Spectroscopy (NIRS) and subjective evaluation scores during PC operation. The NIRS results suggested that AS corresponds to the halfway of the concentration on the task using the switched application, and it takes five seconds on average to reach the concentrated state. Moreover, the subjective evaluation scores revealed that the interrupts within two seconds from AS show significantly lower uninterruptibility than the interrupts after four seconds or more. These results suggested that the AS uninterruptibility reduction is an acute effect that lasts in several seconds.

Keywords : Uninterruptibility, NIRS, focused Application - Switching, Business

Contact Address : **Takahiro TANAKA**

Tokyo University of Agriculture and Technology

2-24-16 Nakacho, Koganei, Tokyo, JAPAN

TEL : 042-388-7928

E-mail : takat@cc.tuat.ac.jp