学習者センシングシステムのための筆記行為の検知手法

江 木 啓 訓† 尾 澤 重 知††

本研究は，学習状況のセンシングと可視化による学習者センシングシステムの実現を目的としている．そのために，加速度センサを用いて学習者の筆記行為を検知する手法を検討する．遠隔講義や e ラーニングといった学習形式の多様化や，学習者の意欲や興味の多様化により，教員が学習者の状況を客観的に把握することが難しくなっている．行動識別の技術を用いることにより，書くに至っていない時点での学習者の状況を判断する．本稿では，取り付け位置を検討するとともに，加速度センサを組み込んだ筆記具を試作した．また，学習者のコンテクストを想定して，筆記行為の計測と判定を行った．

A Method of Detecting Writing Action with Pen Acceleration toward Learner Sensing Systems

Hironori Egi† and Shigeto Ozawa††

This paper describes grasping a state of students and visualizing it with sensors that detect their writing action. The style of studying is being diversified with the spread of utilizing distance education and e-learning systems. Character of students like their interest and preference is also being diversified. With these reasons, it is getting difficult for a teacher to understand status of students objectively in a large classroom. We introduce measuring acceleration of a pen with wireless sensors and establish the method to detect the kinds of their behavior while studying. The result of this research can be applied to designing learner sensing systems.

1. はじめに

本研究は，学習活動を支援するための学習者センシングシステムの構築を目標としている．これまでに，様々な小型デバイスを用いた行動識別やインタラクション支援に関する技術の研究が進められてきた．これらの研究を踏まえて，学習の場における課題に着目したシステムのデザインを進めるとともに，その手法や影響について検討する．

コンピュータを用いた実習を行う教室だけでなく，一般教室においてもプレゼンテーションソフトや電子黒板を用いた授業が増えている．また，ビデオ映像を用いて遠隔講義や講義配信を行うシステムの普及など，教育機関における講義の形式は多様化している．その一方で，学習者の意欲や興味の多様化により，教員が学習者の状況を客観的に把握することが難しくなっている．

学習者の反応を表層化させる工夫として，授業へのコメントを書かせたり，レスポンスアナライザを導入したりといった取り組みがある．しかしながら，内容の理解や興味・関心などの書くに至っていない時点での状況は表層化されない．従って，学習状況をより客観的に理解するためには，学習者のセンシングが必要であると考えた．

本稿では，学習者のノートを取ったり演習問題に解答するといった行為に着目する．無線加速度センサを用いて，筆記状況を検知する手法を検討する．

2. 本研究の目的

筆記具に加速度を検出するセンサを組み込み，筆記行為の計測と判定を行う手法の確立を目的とする．まず，高精度で筆記行為を検知するために，加速度センサの筆記具への取り付け位置を決定する．次に，想定する学習者の状況を加速度の特徴から検知・判断できるか検討する．検知手法と判断したコンテクストの妥当性の検証，検知精度について評価実験を行う．これらの結果を踏まえて，学習者センシングシステムの構

† 東京農工大学総合情報メディアセンター
Information Media Center, Tokyo University of Agriculture and Technology
†† 早稲田大学人間科学学術院
Faculty of Human Sciences, Waseda University

図 1　大教室における授業

築に向けた課題について整理する．

3. 関 連 研 究

これまでの研究のうち，主に学習者の状況を理解するための方法に関するものと，筆記用具 (ペン) を用いてコンテクストを判断するものについて整理する．

3.1　学習者の状況理解

教員に対して学習者の数が多いような学習の場においては，個々の学習者が内容を理解しているか，意欲を維持したり関心を持ったりしているかを判断することが難しくなる．図 1 に大教室における授業の例を示す．教員は黒板やプロジェクターを用いて資料を提示しながら講義し，演習課題の実施や机間指導を通じて学習者の状況を把握しようとすることが一般的である．

このような状況において，学習者の理解や思考を表層化させる工夫がなされている．代表的なものとして，授業に対してのコメントを紙に書かせたり，レスポンスアナライザシステムを開発したり[1)2)]，それらを導入・運用したり[3)4)] といった試みがある．しかし，コメントの提出用紙への記入や，コントローラー上のボタンを押すことによる選択といった形で能動的に表層化しない学習者の状況を判断することができない．

学習時の顔をビデオカメラで撮影し，映像解析を用いて表情や動きから判断を行う手法もある[5)]．しかし，学習中に常に撮影される状況は学生に与える心理的影響が大きいと考えられる．また，デジタルペンを利用したり[6)]，学習者のノートを撮影するといった方法[7)]で，内容理解をはかることも可能である．これも同様に，筆記のタイミングと内容の収集によって学生が萎縮する可能性がある[8)] とともに，やはり内容の理解や興味・関心などの書くに至っていない時点での状況は表層化されない．

これらの研究に対して，例えば「筆記具を持ったものの，書こうかどうかためらっている」といった状況を，学生に心理的な影響をできるだけ与えない方法で判断する必要があると考えた．

3.2　ペンを用いたコンテクストの判断

筆記具にセンサを取り付けたデバイスの開発が，ペン入力の場面におけるインタフェースやインタラクションを支援する研究において行われている．ペンタブレットとスタイラスを利用する際には，個々の作業や機能の切り替えにおいてタップによるメニュー選択を行うことが一般的である．しかし，例えばドローイングにおいては線種や太さ，色の切り替えが頻度に発生するが，それらの切り替えが煩雑であるという問題がある．

ペンデバイスに取り付けたセンサから得られる情報をもとに，このような選択をスムーズに行う自然なインタフェースの実現が提案されている．加速度センサを用いたものとして，ペンの回転や前後・左右の振れを計測することによるメニュー選択の支援がある[9)]．また，触覚センサを用いてペンを握る位置を検知したり[10)]，マルチタッチセンサによる持ち方の検出[11)]，感圧センサを用いてペンを握る力の強弱とその変化を計測する[12)] ことにより，持ち方の状態をドローイングにおけるペンの設定などに反映させるものがある．

これに対して，我々はセンサ情報から持ち手である学習者の状況や思考状態の推定を目指している．このような行動識別に加速度センサを用いたものとして，歩行や走行などの運動の検出[13)]，格納動作による携帯電話の所有判断[14)] などがある．また，これらの情報をもとにした移動インタフェース[15)] などが提案されている．学習の場面における支援システムを実現するために，このような行動識別の技術を活用する．

4. 筆記行為の検知方式

本研究では，加速度センサを用いて筆記行為の検出を行う．以下に検知方式と想定したセンシングのコンテクストについて説明する．

4.1　筆記具の計測

日常的に用いられている筆記具に，三軸加速度センサを組み込んで動きを検出する．高精度で筆記行為を検知するために最適な計測位置を決定するため，シャープペンシルに取り付けた筆記具の試作を行った．図 2 に試作した筆記具を示す．Bluetooth によりデータを送信する小型無線加速度センサ WAA-001(ワイヤレステクノロジー社製) を用いた．センシングのために加速度センサを取り付ける位置として，筆先部，クリップ部，頭部などが想定される．筆記具は筆先寄

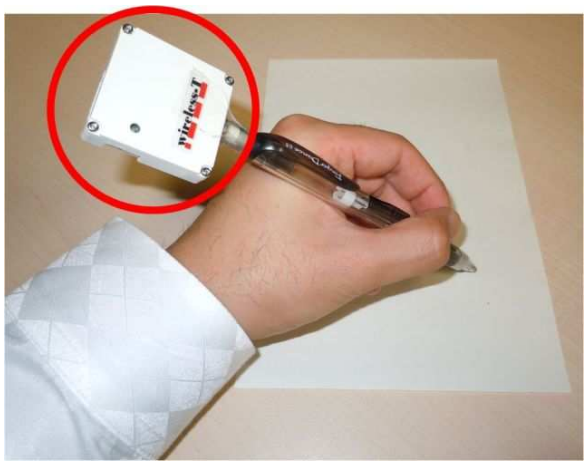

図 2　加速度センサを取り付けた筆記具

りを持って使用されるため，筆記具の支点から最も遠い頭部が，移動量も大きく計測に適していると考えられる．また，学習者が持ちやすいという点からも，頭部へのセンサの取り付けが望ましいと結論付けた．各部分に取り付けた場合の加速度を計測して傾向を比較した上で，頭部をコンテクストの推定に最適な計測位置として決定した．

4.2　センシングコンテクストの決定

加速度センサを取り付けた筆記具を用いたセンシングによって，どのようなコンテクストを判断できるか検討する．被験者が試作したペンを用いて学習活動に従事する様子をビデオカメラで撮影し，推定するコンテクストと実際の学習状況とを比較した．加速度の特徴から推定できる学習者の状況として，下記の 4 パターンのコンテクストの推定を行う．これらのコンテクストは，試作した筆記具を利用させた場合の傾向をもとに定義した．図 3 と図 4 に筆記具の状態遷移と，対応する加速度の特徴をそれぞれ示す．

4.2.1　筆記具を置いている (a)

筆記具が水平方向に継続して完全に静止している状態から，学習者は手に持たず机に置いていると推定される．これは筆記を始める前，または書き終わった後の状態であるか，または筆記具を取って書こうという意思が見られない状況であると考えられる．

4.2.2　筆記具を持った手が止まっている (b)

筆記具が継続して概ね静止しているが水平方向でない状態から，学習者が持っているが手は動いていないと推定される．これは学習内容を見聞きしているか，あるいは内容が理解できないといった状況と推定される．

4.2.3　筆記具を持って動かしている (c)

筆記具が継続して運動しているが，筆記に見られる

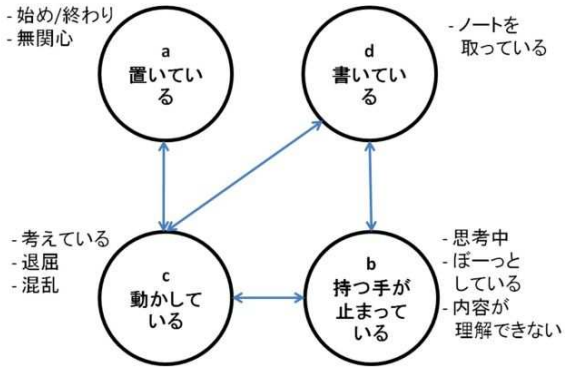

図 3　想定する筆記具の状況と学習者の状態

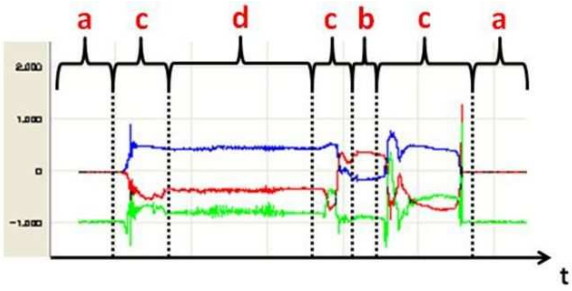

図 4　3 軸加速度値の推移例

特徴が無く不規則な状態から，学習者の手は動いているが筆記行為ではないと推定される．これは筆記と筆記の合間である他に，学習内容に退屈しているか，混乱しているか，または考えているといった状況と推定される．しかしながら，手が止まっている状態と比べて，学習者に差違があるのかは明らかではない．また，個人差や状況差が影響する可能性がある．

4.2.4　筆記具を使って書いている (d)

筆記具が継続して運動しており，筆記に見られる特徴が継続している状態である．学習者が筆記を行っていると推定される．ノートを取っていたり，課題に取り組んでいたりといった状況が考えられる．

5.　筆記における計測実験

加速度センサを取り付けた筆記具を用いて，識別の可能性に関する評価を行った．また，実際の筆記における計測を通じて，コンテクスト判断のための条件を整理した．

5.1　コンテクストの識別

先に述べた 4 パターンのコンテクストが識別可能であるかを評価するため，筆記具の加速度センサから得られたデータをもとにオフラインでの行動識別を行った．三軸の加速度データを，10 ミリ秒間隔でサンプリングして収集した．(a) 置いている，(b) 手

が止まっている，(c) 手が動いている，(d) 書いている，の 4 パターンについて，30 秒の学習用データを 5 セット用意した．データ収集用のソフトウェアとして ATR-Promotions 製の AccelRealTime を用いた．なお，(d) 書いているのデータは手を移動させず固定箇所でひらがなを書くことにより収集した．

各パターンの評価用データを同様に用意して，認識率のクローズド評価を行った．(d) 書いているのデータとして，固定箇所で書いている場合と，ひらがなの五十音表を A4 で 1 枚の記入用紙に印刷して書き取った場合それぞれについて収集した．特徴量は振動の平均，分散，エネルギーを用いるとともに，決定木は J48 を用いた．探索的な分析より，認識のためのサンプル数は 32 とし，ウィンドウのスライド幅は 1280ms とした．収集したデータの分類，学習と評価には HASC Tool[16] を用いた．

5.2 筆記内容による特性

日本語を母語とする大学生 8 名を対象とした．センサを取り付けたシャープペンを使用して，以下の筆記タスクに取り組んでもらった．それぞれ A4 で 1 枚の記入用紙を用意し，自分の氏名の記入以外は印刷したものをなぞる形とした．表 1 に筆記タスクの一覧を示す．

表 1 筆記タスクの種類

1. ひらがな	五十音表のひらがなをなぞる
2. 漢字 (1)	自分の氏名を枠内に縦書き楷書で書く
3. 漢字 (2)	固有名 (大学群の名称) を横書きでなぞる
4. 図形	立方体，円柱などの図形をなぞる

記入に際して，時間や書き順などの制約は設けなかった．加速度の計測値はリアルタイムにグラフ表示し，タスクに従事する様子をビデオカメラで撮影したものと合成して録画した．これらの映像をもとに一般的な筆記状況における特性の分析を行った．

6. 考　　察

筆記における計測の結果から，識別の可能性を検証する．また，筆記内容との関連性や学習者センシングシステムへの展開に関する議論をまとめる．

6.1 コンテクストの識別結果

コンテクストの識別実験の結果を Confusion Matrix として表 2 と表 3 にそれぞれ示す．表の縦方向が正答のコンテクスト，横方向は識別した結果のコンテクストである．手の移動を伴わない場合 (表 2) の総合認識率は 92.3%であった．最もプリミティブな条件では，本研究で提案した 4 パターンのコンテクストの識別は十分な精度で可能であると考えられる．また，筆記内容としてひらがなの五十音表を用いた場合 (表 3) の総合識別率は 92.7%であり，(d) 書いているに該当する筆記の識別率も 75.3%となった．これらの結果から，加速度の特徴を用いて学習者のコンテクストを判断する手法の実現は十分可能であると言える．

ただし，手が止まっている場合の移動幅の許容値をどの程度に設定して，置いている・動いている場合と区別するかは，実際の授業などの観察をもとに今後決定する必要がある．

表 2 コンテクスト識別結果 (手の移動なし)

正解	a.	b.	c	d
a. 置いている	98.2%	1.0%	0.8%	0.0%
b. 止まっている	17.3%	81.0%	0.7%	1.0%
c. 動いている	0.0%	0.0%	95.7%	4.3%
d. 書いている	0.0%	0.0%	5.5%	94.5%

表 3 コンテクスト識別結果 (手の移動あり)

正解	a.	b.	c	d
a. 置いている	97.0%	0.0%	3.0%	0.0%
b. 止まっている	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
c. 動いている	0.7%	0.0%	98.7%	0.6%
d. 書いている	0.0%	0.0%	24.7%	75.3%

6.2 筆記内容による特性の分析

筆記タスクへの従事の様子を観察したところ，以下の点について詳細な設計が必要であることが明らかになった．

第一に，識別のための最小単位をどのように定めるかが挙げられる．筆記行為そのものについては識別が可能であり，ひらがなの書き取りに関するオープン評価を試行したところ，70%前後の認識率が得られた．しかし，実際に文章を書く場合を想定すると，字・単語・行のどのレベルで分割して識別するかを考慮する必要がある．また，改行や箇条書きといった文書の構成に影響される可能性もある．

第二に，書き進め方の特性にどう対応するかが挙げられる．同じ日本語であっても筆記方向が縦書き・横書きであったり，要約やコメントをつける場合では斜めであったりする．

第三に，書体や語種，図表などの影響の調査が必要である．日本語だけでも漢字・ひらがな・カタカナで画数やストロークの特徴が異なる．また，楷書体・草書体や書き殴ったような崩し文字がある．これらの筆記はなめらかな動きによりストロークとストロークの間の移動が不明確になると推測されるため，加速度の

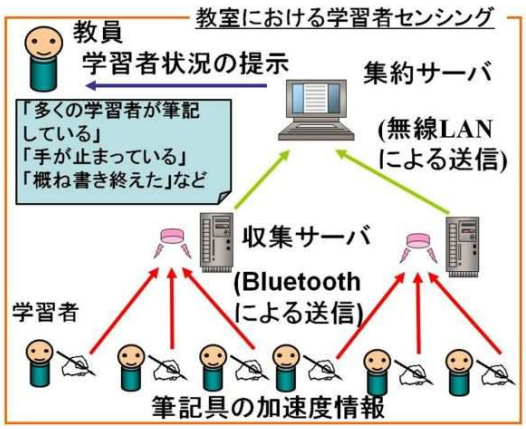

図 5　筆記状況を教員に伝えるシステムの構成

特徴値が大きく異なる可能性がある．また，図形やグラフの描画のほか，アルファベットや数字を筆記する場合への適用に向けた検討が必要である．

6.3　学習支援システムの開発

学習者の筆記行為を検知することにより，様々な応用が可能となる．まず，教室内で学習者の状況を収集して教員に提示するための教室内センシングシステムが考えられる．筆記デバイスは加速度をセンシングし，無線によって収集サーバに送信する．収集サーバは複数の筆記デバイスの加速度情報から，個々の学習者のコンテクストが定義した 4 パターンのいずれであるかを判断し，集約サーバに無線 LAN を通じて送信する．集約サーバは個々の学習者のコンテクストをもとに，教員に対して「多くの学習者が筆記している」「概ね書き終えた」「手が止まっている」といった教室内の受講状況を可視化して提示することが可能である．図 5 に，教員に筆記状況をフィードバックするシステムの構成を示す．

また，リアルタイムに取得した学習者の筆記状況をもとに，受講態度や関心の高低についてのフィードバックを提示したり，筆記の進捗に基づいて教室の機器を制御するといった方法で，教員の授業進捗管理を支援することができる．さらに，自学自習や e ラーニングを含めた遠隔地・非同期での学習を支援するシステムにも活用できる．

6.4　学習者の属性・環境による違い

本研究におけるコンテクストは，大教室における数十人以上の講義での利用を想定して決定した．これは，講義とノートテイキングの様式が確立しており，本手法の有効性を最も評価しやすい環境であると考えたためである．

しかし，筆記行為の判断に用いている加速度の特性が，児童・生徒を対象とした小さな教室の場合でも同一であるか，あるいはどのように異なるかが明らかではない．大学においては多人数の授業で受講学生の状況や反応を大まかに把握したいという要求がある．それに対し，大学よりも個々の児童・生徒の様子が見える小学校・中学校の教室において活用の価値を見いだすためには，筆記のリズムや速度，学習意欲の継続と低下 (「手いたずら」や「ペン回し」) など，より精細なコンテクストを判断できる必要がある．併せて，試作したペンを日常的な学習に用いるための児童・生徒へのインストラクションや耐久性，判断したいコンテクストの種類とその具体性について検討が必要である．

また，本稿における実験では，日本語を中心とした筆記を取り扱った．しかし，英語をはじめとする他言語において傾向が異なるなど，言語毎に同様の特性が見られない可能性がある．

6.5　教員を支援するシステム

筆記行為の検出と集約により，学習者の内容理解を判断することが可能となる．教育支援のみならず，教授法の向上に役立つシステムへに展開できる．

もとより教員には本手法の利用によらず，学習者の表情や反応から内容の理解を判断して学習状況を把握する授業能力が求められる．このため，教員に対して単に情報提示を行うのではなく，自己の認識と学習者センシングに基づいた筆記状況とのギャップに基づく内省を支援するシステムに応用することが考えられる．

また，教師からの問いかけや指示・板書，机間指導などに対する学習者の筆記行為の検出と集約を通じて，学習者の反応をリアルタイムにはかることができる．研究授業による教員の相互研修や，教員養成課程における授業構成や机間指導の学習，教育実習といった活動における教員のスキル向上に寄与することが可能である．例えば，これらの情報と教師の映像を組み合わせて提示するシステムを用いることにより，客観的に自己の授業法を振り返ったり，熟練教員からのアドバイスを受けるといった活動が可能となる．

6.6　スタイラスへの適用

また，タブレット型のコンピュータにおけるスタイラスに加速度センサを取り付けた場合，これまでに開発した筆記具を用いた場合と差違が生じるかを検証することが考えられる．スタイラスの加速度の特性を明らかにするとともに，コンテクストと筆記内容の組み合わせによる高度な状況推定や，画面への表示による即時フィードバックや入力補助といったユーザの作業支援を実現することができる．

7. おわりに

本稿では，加速度センサを用いて学習者の筆記行為を検知する手法について述べた．今後は，学習状況のセンシングと可視化による学習者センシングシステムの実現に向けて，認識のためのパラメータを改良して識別精度の向上と実環境での評価を進める．その上で，本手法を用いて教員・学習者双方を対象とした支援システムの開発を行う．また，筆記行為を検知する手法をもとに，コンテクストを判断するための筆記デバイスの開発を行う．加速度センサを内蔵した上で，耐久性があり学習者が日常的に違和感なく使用できる筆記具の製作を進めている．

謝辞　本研究の一部はパナソニック教育財団平成23年度先導的実践研究助成による．また，本研究の実施にあたり，HASC Tool に関する資料を参考とした．ここに記して謝意を示す．

参　考　文　献

1) Huang, C.W., Liang, J.K. and Wang, H.Y.: EduClick: A Computer-Supported Formative Evaluation System with Wireless Devices in Ordinary Classroom, *Proc. of International Conference on Computers in Education (ICCE 2001)*, pp.1462–1469 (2001).
2) Robbins, S.: Beyond clickers: using ClassQue for multidimensional electronic classroom interaction, *Proc. of the 42nd ACM technical symposium on Computer science education (SIGCSE '11)*, pp.661–666 (2011).
3) 青野　透，鎌田康裕：適時の知識確認方法としてクリッカー等を用いた授業，教育システム情報学会研究報告，Vol.23，No.5，pp.18–23 (2009).
4) Murphy, T., Fletcher, K. and Haston, A.: Supporting clickers on campus and the faculty who use them, *Proc. of the 38th annual fall conference on SIGUCCS*, pp.79–83 (2010).
5) 中村和晃，角所　考，村上正行，美濃導彦：e-learning における学習者の顔動作観測に基づく主観的難易度の推定，電子情報通信学会論文誌，Vol.J93-D，No.5，pp.568–578 (2010).
6) 杉原太郎，三浦元喜，國藤　進：Practicing on Stage: デジタルペンシステムによる授業過程の見える化とインタラクションの増加，情報処理学会インタラクション 2010 シンポジウム，pp.135–142 (2010).
7) 渡邊栄治：e-Learning における受講者の動作の分析 -ノートをとる動作に基づいた分析-，電子情報通信学会技術報告，LOIS2009-1，pp.13–18 (2009).
8) 三浦元喜，杉原太郎，阪本康之，三浦　匠，國藤　進：無線デジタルペンが可能にする新しい授業のかたち，日本教育工学会第 25 回全国大会予稿集，pp.35–38 (2009).
9) Suzuki, Y., Misue, K. and Tanaka, J.: Pen-Based Interface Using Hand Motions in the Air, *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol.E91-D, No.11, pp.2647–2654 (2008).
10) 山本景子，金谷一朗，佐藤宏介：ペンの把持情報を利用したペンタブレット型ドローイング支援インタフェース，インタラクション 2010 予稿集，pp.239–242 (2010).
11) Song, H., Benko, H., Guimbretiere, F., Izadi, S., Cao, X., and Hinckley, K.: Grips and gestures on a multi-touch pen. *ACM Proc. of CHI 2011*, pp.1323–1332 (2011).
12) 鈴木　優，三末和男，田中二郎：ペンを握る動作を利用したインタラクション手法の検討，情報処理学会論文誌，Vol.52, No.4, pp.21552–1561 (2011).
13) 倉沢　央，川原圭博，森川博之，青山友紀：センサ装着場所を考慮した 3 軸加速度センサを用いた姿勢推定手法，情報処理学会研究報告，2006-UBI-11, pp.15–22 (2006).
14) 金　春善，藤波香織：格納動作パターンを用いた携帯電話の所有場所判定，情報処理学会研究報告，2009-UBI-21, pp.23–30 (2009).
15) 曹　慶雲，藤田欣也：前進後退と跳躍および回転が可能な足踏み型仮想空間移動インタフェース，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009 予稿集，pp.521–524 (2009).
16) 河口信夫, 小川延宏, 岩崎陽平, 梶克彦, 寺田努, 村尾和哉, 井上創造, 川原圭博, 角康之, 西尾信彦：HASC Challenge2010: 人間行動理解のための装着型加速度センサデータコーパスの構築, マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2011) 予稿集, pp.69-75 (2011).