

センサネットワークを用いた業務の計測と分析

納谷 太^{†1} 大村 廉^{†1,†2}
野間 春生^{†1} 小暮 潔^{†3}

装着型センサや環境設置型センサから構成されるセンサネットワークにより作業者の日常行動・状況を理解し、業務の効率化や事故防止に役立てるシステムの実現を目指している。本稿では、看護師を対象に業務に付随する種々のコンテキスト情報をセンサネットワークで観察・計測する手法および、取得したセンサデータへのラベリングと行動識別処理を統合した行動分析ツール SyncPlay を紹介する。本ツールを用い、従来人手では困難であったセンサデータに基づく詳細な業務分析事例を紹介する。

Workflow Measurement and Analysis with Wireless Sensor Network Systems

FUTOSHI NAYA,^{†1} REN OHMURA,^{†1,†2} HARUO NOMA^{†1}
and KIYOSHI KOGURE^{†3}

We have been investigating a sensor network system for measuring and understanding workers' daily activities using heterogeneous wearable sensors and environmental sensors for improving their workflow and preventing incidents/accidents. We propose a method for measuring various contextual information about nursing work in a hospital, and introduce an analytical tool SyncPlay, which integrates both annotating and classifying processes of human activities with multiple heterogeneous sensor data. We also describe detailed analytical results using sensor data which have been difficult to address.

^{†1} 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所
ATR Intelligent Robotics and Communication labs.

^{†2} 慶応義塾大学 理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

^{†3} 金沢工業大学 工学部
College of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

1. はじめに

病院の看護師や工場の作業員などの種々の業態に携わる作業者の業務の計測と分析は、ミスの再発・未然防止、業務の効率化、熟達者のノウハウや経験・知識を新人やスタッフ間で共有する上で重要である。このような業務の計測と分析は人手で行われることが大半である。特に医療現場では、複数の医師・看護師等のスタッフが介在し、多種・小粒度の業務転換や割込みが頻繁に発生するが、このようなダイナミズムの大きい業態では、業務の計測そのものが非常に困難であった。従来、看護業務量の計測には、「タイムスタディ」¹⁾ と呼ばれる手法が一般的であり、観察者が対象看護師を追跡し、逐一の業務を実施していたかを記録紙等でチェックする方法が多く行われている。この手法では、業務の計測と記録に人が介在するため、長時間・長期間にわたり質的に一定した十分なデータを取得することが極めて困難である。ユビキタスセンシング技術によって、現場の医療従事者に負担を強いることなく、多岐に渡る業務を自動計測し、業務に付随する種々のコンテキストに関するデータを詳細かつ長期間取得できれば、より客観的で質の高い業務分析を行うことが可能となり、人手では観測・抽出しきれなかった業務の効率化やミスの未然防止等に貢献できるであろう。

本稿では、医療事故やその手前に相当するヒヤリ・ハットの当事者として最も多い職種である²⁾ 看護師の業務に焦点を当て、開発したセンサネットワークによる看護業務の計測手法、取得した多種センサデータへのラベリングと行動識別処理を統合した分析ツールについて述べ、実際に病院で計測したセンサデータに基づく看護業務分析事例について紹介する。

2. センサネットワークによる看護業務の計測

前述のように、看護業務の計測は、タイムスタディ調査¹⁾ と呼ばれる人手で対象看護師をビデオ撮影をしながら業務を記録紙などを用いる手法が一般的である。タイムスタディ調査による業務分析事例には、ベテラン看護師と新人看護師の業務実施順序の差の比較³⁾ や医療過誤の要因分析⁴⁾、部屋の移動と行為に関する分析⁵⁾などを目的として行われ、そのための一日の業務の追跡調査が実施されている。

上記のような業務分析を目的として業務をセンシングするには、「誰が」「いつ」「どこで」「誰と・誰に」「何を使って」「何をした」のかといったコンテキストを(半)自動で計測・識別できる技術が必要である。特に看護業務は一日の業務転換数が多く、かつその種類も多岐に渡り、病院内での移動量も多く、多くの患者への対応や多種の機材を用いる。このような極めてダイナミズムの大きい業務を計測するには、環境カメラ等では捉えきれず、患者の

プライバシーを保護する上でも限定的にしか使用できない。さらに、看護業務自体が相当量の負荷を伴うため、看護師への負担を極力排除した計測手段が必要である。

我々は上記のような多様で業務転換数の多い看護師の動作と位置を精度良く計測するため、PDA 等の小型装着型機器を中心とする小型・軽量のセンサを用いたボディエリアセンサネットワーク⁸⁾と、看護師の位置を追跡するための赤外線 ID および ZigBee 無線を用いた病棟 1フロアレベルをカバーする位置センサネットワーク¹⁰⁾を構築し、看護師の動作と位置に関するセンサ情報を用いた行動識別技術⁷⁾による業務の記録、記録した業務を分析し可視化するシステムを構築してきた¹²⁾。また、現場の看護師に各種コンテキスト情報をオンラインで可視化・提供することを目的として、各看護師の現在位置を地図上で表示するアプリケーション¹⁰⁾、行動および業務などのコンテキストをオンラインで識別し、これらのコンテキスト情報をデータベースで保持しつつ加工することにより、各看護師の業務履歴、患者へのケア実施状況を表示するアプリケーションを構築している¹¹⁾(図 1)。

看護師の動作に密着したコンテキストを計測するためのボディエリアネットワークは、看護師の両上腕、胸ポケット、腰に装着した Bluetooth ベースの無線小型加速度センサおよび、センサデータを収集する小型装着型機器から構成される。小型装着型機器の内部には加速度センサデータの収集用途とは別系統の Bluetooth アンテナを備え、他の看護師が装着した小型装着型機器もしくは、患者ベッドや輸液ポンプ等の共用機材に設置した Bluetooth デバイスを検出することにより、看護師が誰と一緒にいた・誰にケアしていたのか、どの機材を使用していたかに関する近接情報を計測する⁹⁾。また、小型装着型機器はマイクを備えており、看護師がボタン押下とともに発話することで音声メモを記録できる。小型装着型機器にて収集した加速度・近接情報・音声データは、WiFi を経由してサーバに蓄えられる。

各看護師が装着する小型装着型機器は、起動時にサーバと WiFi 経由にて NTP による時刻同期を行い、その後、小型装着型機器と複数の小型無線加速度センサとの間で時刻同期が行われる。加速度センサデータ (X,Y,Z 3 軸成分の加速度、重力加速度も含む) にはセンサ計測時のタイムスタンプがセンサ内部で付与される。同様に近接情報データ、音声データについても、各データが取得された際のタイムスタンプが付与されサーバに送信される。これにより、無線通信による伝送遅延に影響なく時間的に正確なデータを取得できる。尚、看護師が装着する機器の装着場所は看護師との協議の上決定し、業務中に装着して計測実験を行い、看護師へのヒアリングからセンサ装着による負担や支障がないことを確認している。

一方、ZigBee ベースの位置センサネットワーク¹⁰⁾は、病棟 1フロア内の各病室やナースステーション、廊下等、機能的に分割された領域での看護師の存在を検知できることを

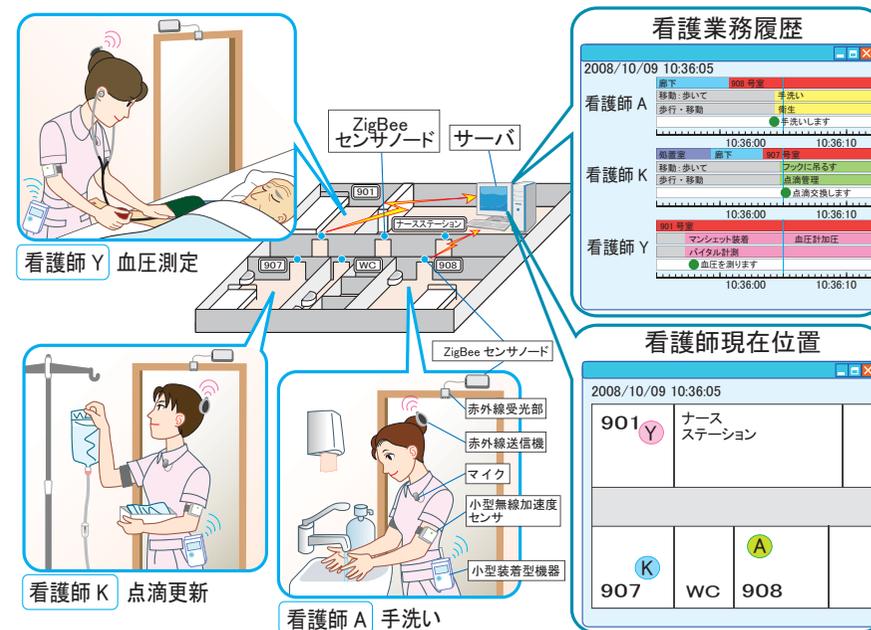


図 1 センサネットワークシステムによる看護業務の記録・分析・可視化の概略。

Fig. 1 Overview of recording, analyzing and visualizing nursing work with a sensor network system.

目的とし、各領域の境界を分離するよう赤外線受光器のペアを設置する。赤外線受光器は ZigBee のエンドノードに接続され、看護師の頭部に装着した髪留め状の赤外線送信機が送信した ID を赤外線受光器が検知すると、タイムスタンプが付与された ID データが ZigBee を用いて集約先であるサーバに送信される。各 ZigBee ノード内の時刻は起動時にサーバと NTP によって同期されるため、ボディエリアセンサネットワークと同様に ID を検知した時の正確な時刻が付与される。集約したデータを処理することにより、どの看護師がいつどの領域を通過したのかをリアルタイムに推定することができる。

センサネットワークの構成や看護師の位置や行動などの各種コンテキストの識別手法の詳細については文献⁷⁾⁻¹¹⁾に譲り、以下では取得したセンサデータを用いて業務分析をするために、実際の病院での看護業務の計測方法、センサデータへの解釈 (アノテーション) を付与し、行動識別のための学習データを生成するために開発したラベリング・識別処理を統合した行動分析ツールおよび、取得データを用いた看護業務分析に焦点を当てて述べる。

3. 看護業務の計測とセンサデータのラベリング

3.1 看護業務の計測と行動識別のための教師データの収集方法

上述のセンサネットワークを用いて看護業務を計測し、業務に付随する各種コンテキストを(半)自動で推定するには、一般的に各種コンテキストを識別するための学習データ(各種コンテキストのクラスごとにセグメントされたセンサデータの集合と、それに対する教師ラベルの集合)を用意し、学習データを用いた特徴抽出処理、特徴量から各クラスに識別するための学習モデルの生成が必須となる。看護師の位置情報については、位置センサネットワークが看護師ごとに病棟内の各領域の出入りを検知できるため、校正や三角測量のためのモデルを用意することなく自動的に領域ラベルを推定することができる¹⁰⁾。しかしながら、看護師の行動の推定には、看護師の位置や動作に関する加速度データなどを用いた特徴抽出処理、識別対象とする行動クラスの選定、複数センサデータ時系列の中で個々の行動に相当する時間セグメントを切り出し、これに対して教師ラベルを付与するといった一連の作業が必須となる。この作業は通常オフラインで行うため、センサデータ計測時に合わせて、事後にラベリングを行うために必要十分な情報を効率的に記録する必要がある。

一般に、カメラ等が使用できる環境では、事後にビデオ映像を観察することで詳細かつ正確なラベリングが行えるが、病室等でのカメラ撮影は患者のプライバシー保護のために極めて困難である。そこで、実際の病院での観察においては、看護師経験のある観察者が対象となる看護師にマンツーマンでフォローし、ボイスレコーダを用いて看護師の行動を逐次音声メモにて記録する方式を用いた⁶⁾。尚、ボイスレコーダのライン入力には、携帯電話用マイクを用い、マイクのボタンを押すとピープ音を発する中継装置を経由して音声を記録する工夫を施した。ボイスレコーダの録音開始時刻をセンサ取得時の時刻と同期させ、簡単な信号処理によってボタンを押した際の時刻とその際に記録した音声区間を切り出すことにより、観察者の発話内容のみを効率よく書き起こすことができる。尚、実際の医療現場での計測においては、ナースステーションや点滴を作成する処置室等、患者の出入りがほとんどない場所については固定カメラを設置して撮影した。また、NTPが稼働しているPCの画面で時刻を表示し、それをカメラで撮影することにより、事後に映像とセンサデータとの時刻を同期できるようにした。さらに、看護業務を記録する上で重要と考えられる行動を事前にリストアップしておき、観察者には事前に予備実験として看護師の動き全体を撮影したビデオを用い、音声メモを記録するタイミングと発話方法の習熟に勤めてもらった。

3.2 SyncPlay: センサデータへのラベリング・識別処理を統合した行動分析ツール

上述のように、看護業務を計測した際の種々のセンサデータ、音声やこれを書き起こしたテキストにはタイムスタンプが付与されており、ビデオ映像もこれらのタイムスタンプと同期可能である。これらの複数の計測データを時刻を揃えて再生し、センサデータに対してラベリングを行う処理と、識別処理を統合した行動分析ツール: SyncPlay を構築した。図2に SyncPlay による看護師1名の看護行動(シンクでの衛生的手洗い)に関するアノテーション作業を行っている際の画面例を、図3にアノテーションウィンドウの拡大図を示す。

SyncPlayでのアノテーション作業時には、図2に示すように、1. ビデオ映像(ムービー)、2. アノテーションメインウィンドウ、3. アノテーションラベル選択ウィンドウ、4. センサデータビューワから構成される画面を見ながら、ビデオ映像と各種センサデータ描画の同期再生、ビデオフレーム(1/30秒)・1秒・10秒ごとのコマ送り、スロー・スピード再生等、ビデオ編集と同等の再生作業を行うことができる。図2の4. センサデータビューワでは、上段から、看護師の両上腕・胸・腰に装着した4つの3軸加速度データ(X, Y, Zの各軸ごとの色別波形時系列)および、看護師の位置推定結果(病棟内の領域カテゴリごとに色分けされたパッチ)を各センサデータの描画方式に基づき表示している。

また、センサデータビューワの各センサデータプロット内でマウスをクリックすると、クリックした個所の時刻がセンサデータビューワの中心になるよう再描画し、その時刻に対して図2の3. アノテーションラベル選択ウィンドウからラベル候補を選択してクリックすることにより、容易にアノテーション情報を追加することができる。もしくは、センサデータの時間区間(例えば、手洗いをしている際に加速度の振幅が変化している特徴的な区間)を選択しておき、アノテーションしたいラベルを選択してクリックすることで容易にイベントの開始と終了をラベリングすることができる。アノテーションのラベル候補は、随時ラベル選択ウィンドウへの追加・削除が可能であり、事前に作成しておいても良い。アノテーションは図3のアノテーションウィンドウに示すように、複数のカラムを持つ階層的なラベリングが可能であり、先述の観察者が記録した音声メモを書き起こした発話テキスト(Utterance)やセンサの波形データを参照しながら、各ラベルの開始や終了を示すカラムや注釈等のカラムの追加が可能である。

SyncPlayの特長は、1. ラベリング作業と行動識別のための特徴量抽出および学習モデルの生成に至るまでの一連の作業を統合し、2. 散布図と種々のセンサデータやビデオを参照し、不要な外れ値を除去しながらインタラクティブに学習データとアノテーションデータを精練できることの2点である。特に、識別対象とする行動リストを選択し、ラベリングした

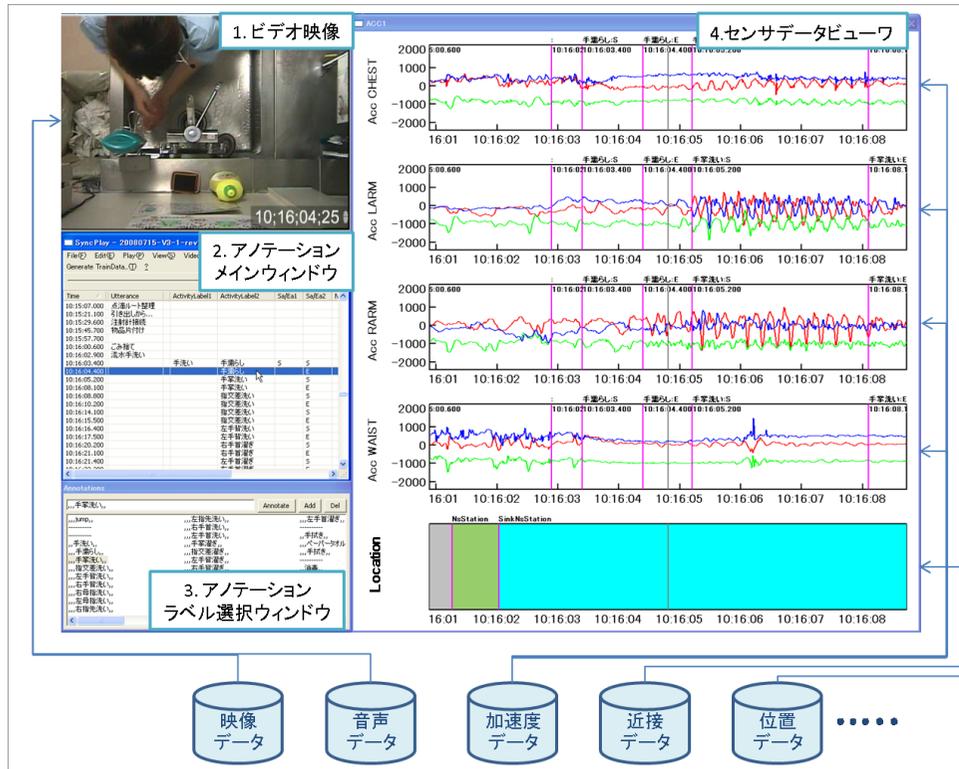


図 2 SyncPlay: 多種センサデータへのラベリングと識別処理を統合した行動分析ツール.

Fig. 2 SyncPlay: An integrated tool for labeling and classifying activities with various sensor data.

時刻	アノテーションラベル1	ラベル1の開始(S)・終了(E)
09:02:16.300	1	
09:02:16.400	1	手洗い
09:02:17.000	1	手拭き
09:02:18.000	1	手拭き
09:02:20.400	1	手拭き
09:02:20.800	1	指文変遷
09:02:21.700	1	指文変遷
09:02:24.500	1	手洗い
09:02:25.100	1	手洗い
09:02:26.600	1	手拭き
09:02:27.300	1	指文変遷
09:02:28.400	1	指文変遷
09:02:30.300	1	指文変遷
09:02:31.500	1	指文変遷
09:02:33.000	1	指文変遷
09:02:33.500	1	指文変遷
09:02:34.500	1	指文変遷
09:02:41.400	1	手洗い
09:02:43.700	1	手拭き
09:02:45.000	1	手拭き
09:02:45.800	1	手拭き

図 3 アノテーションウィンドウ: 階層を持つ業務や詳細行動の開始・終了をラベリング可能.

Fig. 3 Annotation window for labeling hierarchical workflow and activities with their duration tags.

データのうち選択した行動ラベルに相当する区間のみ種々のパラメータで指定した特徴抽出処理を適用して学習データセットを生成することができる(図4). 特徴抽出処理では, センサデータ時系列に固定長のウィンドウ幅を持つスライディングウィンドウを適用し⁷⁾, スライディングウィンドウごとに特徴ベクトル⁸⁾およびその行動ラベルのペア(学習データ)を生成する. 個々のスライディングウィンドウで生成された特徴ベクトルは一般的に多次元特徴ベクトルとなるが, これに対して行動クラスに関する多変量分散分析(MANOVA)を施すことにより, 任意の2つの正準変数の組み合わせを用いて2次元の散布図を描画できる(図4右上). 図4では, 正準変数の固有値が大きい順に, 第1 vs. 第2正準変数のプロット(散布図1)および, 第1 vs. 第3正準変数のプロット(散布図2)を示してある. また, 散布図上の各点(特徴サンプル)は, センサデータ時系列でスライディングウィンドウを適用した箇所の時刻と紐づいているため, 散布図上の特徴サンプルをクリックすることで, ビデオ映像, アノテーションメインウィンドウ, センサデータビューワを当該時刻のビューに切り替えることができる.

上記機能は, 学習データの対象から外れ値となる特徴サンプルを除き, 安定的な学習データを生成する上で有用である. ラベリング作業はセンサデータの連続した時間区間に対して行われるが, ラベリングされた時間区間には, 行動と行動が切り替わる過渡状態や, 体の突発的な接触によって生じるセンサデータ上でのノイズやピークなどが時折含まれる. また, ラベリング時の揺らぎ等により, 特徴抽出した結果, 特徴サンプルがそれが属する行動クラス内重心から大きく外れることが起こりうる. このため, 特徴空間を2次元で可視化した散布図でクリックした点が外れ値に相当するかを実際の映像やセンサデータと照合して判断し, インタラクティブに削除することができる. さらに, 外れ値を除去する一般的な手法として, 各特徴サンプルと各クラス重心からのユークリッド距離が, クラス内偏差の定数倍以上であるようなサンプルを除去するなどの外れ値フィルタを備えており, 外れ値除去処理をした場合にはアノテーションデータの区間も自動的に分割して編集する機能を有する.

上記作業を繰り返すことにより安定した学習データと正確なアノテーションデータを生成し, Java ベースのフリーのデータマイニングソフトである Weka¹⁹⁾ のデータ形式 (ARFF) での保存や, 識別アルゴリズムとしてサポートベクトルマシンを実装した LibSVM²⁰⁾ 形式の学習モデルを生成・保存できる. さらに, 実験ごとに異なる独自の特徴抽出処理ルーチン

*1 ウィンドウ内の各軸データの平均や偏差, FFT パワー, 周波数領域エントロピー, 異なる2つの加速度センサ間の任意の2軸間の相関係数等. 詳しくは^{7),8),11)}を参照

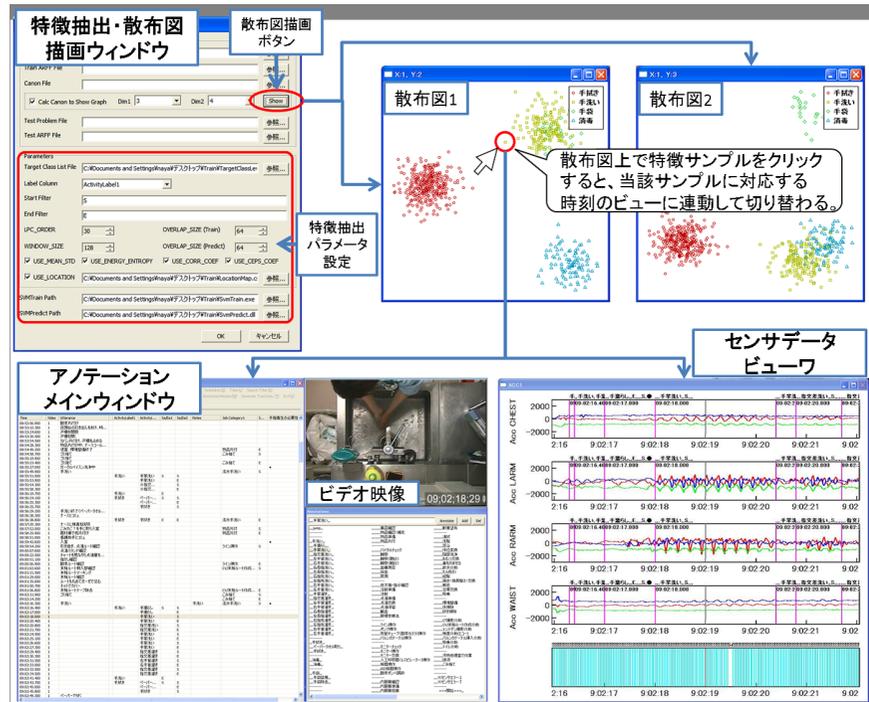


図 4 特徴抽出処理と散佈図描画：散佈図上のプロットをクリックすると各ビューが当該時刻に切り替わる。
Fig. 4 Feature extraction and scatter plots: when clicked on a plot, all data window switches the view to those data of the corresponding time point of the plot.

の呼び出しや、保存した学習モデルを用いて未ラベリングデータを識別し、半自動でラベリングを行う拡張機能、センサデータをオンラインで取得し、行動識別モジュールとの連携によるリアルタイム行動識別・業務履歴表示システム等も開発している¹¹⁾。

上記作業により、通常のビデオや人手の観察データに基づく業務のラベリングだけでは得られない、センサデータを用いたより詳細な人の動作や業務のアノテーションデータを正確・(半)自動で生成できる^{*1}。また、センサネットワークで自動収集した人の移動履歴データ等を組み合わせ、質・量ともに豊富なデータを用いた業務分析を行うことができる。

*1 生成したアノテーションデータは CSV 形式で出力でき、分析データとして種々に変換して用いることができる。

4. センサデータを用いた看護業務分析

ここではセンサネットワークにて実際に病院での看護業務を計測したセンサデータおよび、SyncPlay にて生成したアノテーションデータを用いた業務分析事例について述べる。

看護業務の計測においては、協力病院の 1 病棟（内科・神経内科・糖尿病の複合病棟 1 フloor）の日勤帯（08:00～16:30）勤務の看護師 9 名を対象に、午前中の日勤業務 8:30～11:00 について、各看護師について日を変えて 2 回計測し、述べ 2 週間に渡る業務量計測を行った。各看護師は、個々の看護師 ID を発する髪飾り型の赤外線送信機を頭部に装着してもらい、位置センサネットワークを用いて各看護師の位置情報データを収集した。さらに、看護師には無線小型加速度センサを両上腕・胸ポケット・腰の 4ヶ所に装着してもらい、腰のポーチに入れた PDA にて加速度データを収集した¹¹⁾。各看護師には、看護経験を有するか看護行為を判別できる観察者がフォローし、ボイスレコーダにて看護師の動作を記録した。同様に看護師にも、各業務の開始・終了時にボタンを押して音声入力してもらい、業務に関する音声データを同時に収集した。また、ナースステーションおよび点滴を作成する処置室については、患者が入室することが極めて稀であることから、病院側の了解を得てカメラにて看護行為を撮影した。

日勤帯の看護師の業務は、深夜勤の看護師からの引き継ぎから始まり、各看護師が受け持つ患者について点滴の混注・作成、バイタル測定、点滴の実施、与薬、清拭（患者の体や足部等を洗うこと）、排泄の世話等、午前中に行うべき多岐に渡る業務を一通り実施した後、11 時に全看護師がナースステーションに集合し、各看護師の業務の実施状況を共有するためのカンファレンスを行う。したがって、センサネットワークで計測する看護業務は、引き継ぎ以降、各看護師が個々の受け持ち患者への点滴・注射作成、バイタル測定、各種ケアを実施し、カンファレンスが始まるまでの一連の業務が対象となる。

看護行動を計測した各種データは、各看護師の病棟内の各領域ごとに推定された位置データ、音声データ（看護師本人および観察者）、看護師の動作を計測した加速度データ、ビデオ映像からなる。これらは全てタイムスタンプ付きで記録されているため、事後に容易に同期を取ることが可能であり、一連のデータセットを SyncPlay で再生できる。実験に参加した看護師ごとに、上記データセットを用意し、音声メモを書き起こした発話テキストをベースに、加速度波形に対してアノテーションを付与するラベリング作業を行った。ラベリング作業に携わるラベラーには、実験室内に構築した模擬病棟で、看護師経験者が実施した一連の看護業務・手技を撮影したビデオ映像とセンサデータを用いたラベリング作業を事

Time	Video	Utterance	Pt	ActivityLabel1	ActivityLabel2	Sa/Ea1	Sa/Ea2
08:48:15.600	1	バイアルの残量を残りのみを確認	Pt:906	点滴器注準備	点滴器注準備	E	E
08:48:18.800	1		Pt:906			S	S
08:48:20.100	1		Pt:906			E	E
08:48:24.500	1	シリンジ針のキャップを取り	Pt:906			S	S
08:48:26.400	1		Pt:906			E	E
08:48:27.000	1	生食を傾い上げ	Pt:906	薬液吸出		S	S
08:48:29.400	1		Pt:906	薬液吸出		E	E
08:48:32.000	1	バイアルに針刺し	Pt:906	薬液溶解		S	S
08:48:33.800	1	薬液を溶解	Pt:906	薬液溶解		E	E
08:48:35.700	1	薬液溶解継続	Pt:906	薬液溶解		S	S
08:48:43.500	1		Pt:906	薬液溶解		E	E
08:48:47.000	1		Pt:906	薬液溶解		S	S
08:48:47.900	1	薬液を吸出	Pt:906	薬液吸出		E	E
08:48:50.400	1		Pt:906	薬液吸出		S	S
08:48:54.500	1	何回かに分けてバイアル中の薬液を吸出	Pt:906			E	E
08:48:57.300	1		Pt:906			S	S
08:48:59.900	1		Pt:906	薬液吸出		E	E
08:49:00.100	1		Pt:906	点滴器注		S	S
08:49:00.800	1		Pt:906	点滴器注		E	E
08:49:01.200	1	バイアルをみ捨て	Pt:906			S	S
08:49:01.900	1		Pt:906	点滴器注		E	E
08:49:03.500	1	生食ボトに薬液混注	Pt:906	点滴器注		S	S
08:49:06.200	1		Pt:906	点滴器注		E	E
08:49:06.700	1	針をセフチーナに捨て	Pt:906	点滴器注片付け		S	S
08:49:08.100	1		Pt:906	点滴器注		E	E
08:49:08.800	1	シリンジをこみ捨て	Pt:906	点滴器注片付け		S	S
08:49:09.600	1		Pt:906	点滴器注片付け		E	E

図 5 病院での看護業務のアノテーション例。
 Fig. 5 Annotation example of nursing work in a hospital.

前に行ってもらった．これにより，加速度波形と音声データだけでビデオ映像がない場合のデータについても，一通りのラベリング作業ができる程度に看護行為とセンサデータの解釈の仕方に習熟してもらった．図 5 にラベリングされた看護業務および詳細行動に関するアノテーションデータの例を示す．アノテーションデータの構成は，図 5 のカラムの左から，時刻，観察者の発話テキスト (Utterance)，看護師が対象としている患者 (Pt)，日本看護協会の分類¹⁵⁾ に準拠した看護業務ラベル (ActivityLabel1)，より小粒度の看護行為のラベル (ActivityLabel2)，看護業務および看護行為の開始・終了ラベル (Sa/Ea1 および Sa/Ea2) からなる．観察した病棟での看護業務に関しては 90 種類以上，詳細な看護行為については約 270 種類のラベルを抽出した．また，患者情報 (病室とベッドでコーディング) については，本実験では観察データおよび発話データに基づいてラベリングしているが，将来的には Bluetooth-ID を用いた近接情報から自動推定⁹⁾ することを想定している．

4.1 看護業務分析事例

上記で生成した看護業務に関する詳細なアノテーションデータおよび，センサデータを用いた看護業務分析事例を紹介する．

4.1.1 業務統計・業務転換数・移動量の分析

従来タイムスタディ調査で行われている看護師ごとの業務量の追跡調査や，移動量の分析については，業務に関するアノテーションデータおよび位置推定結果を可視化することでより詳細な分析が可能である．図 6 に，ベテラン看護師 (勤続年数 10 年以上) と新人看護師 (勤続 2 年目) の午前中の業務に関し種々の業務統計分析結果を可視化した例を示す．図 6

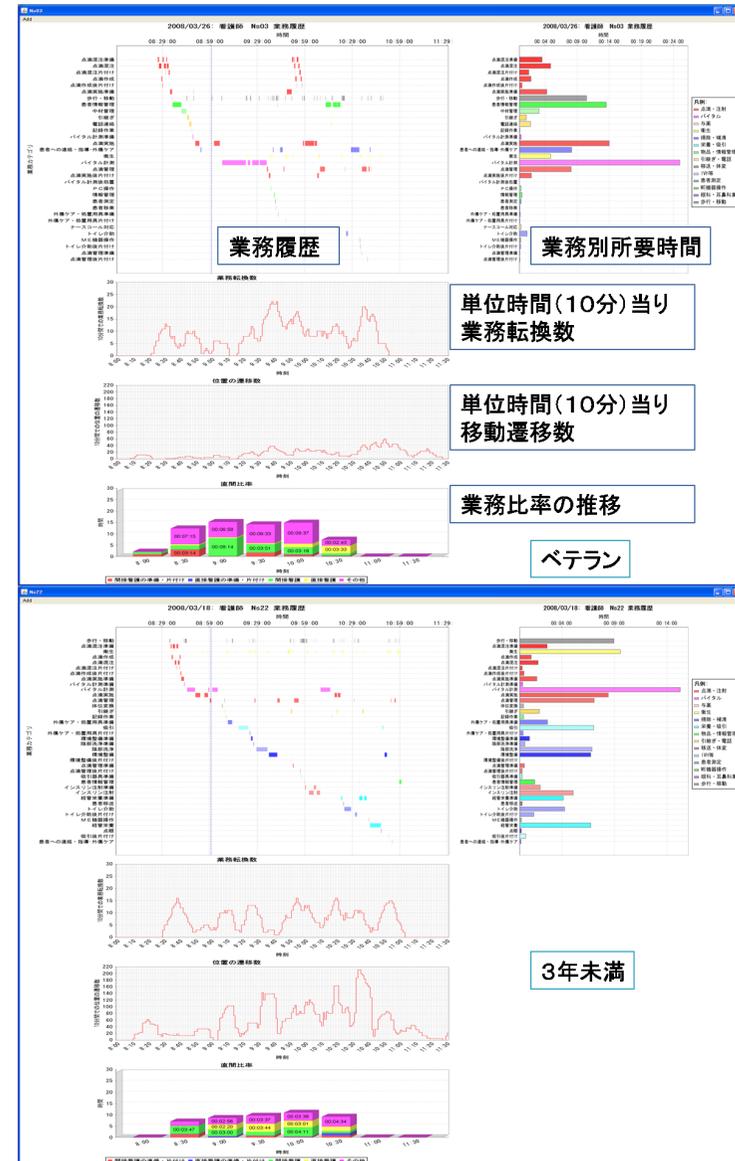


図 6 業務詳細分析事例．上:ベテラン (勤続 6 年以上)，下:新人 (勤続 2 年目)。
 Fig. 6 Detailed job analysis example. Above: experienced nurse (working experience >6yrs). Below: rookie nurse (<2yrs).
 © 2009 Information Processing Society of Japan

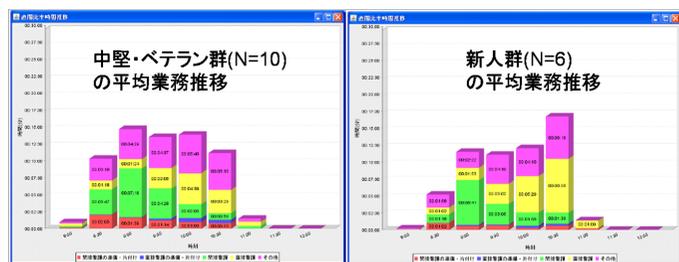


図 7 業務推移分析例。左:ベテラン群, 右:新人群。

Fig.7 Job transition analysis. Left: experienced nurses, Right: inexperienced nurses.

の左上は、業務 (ActivityLabel1) の時系列を描画したガントチャート、右上は各業務の総実施時間のバーチャートを示してある。ガントチャート中の色は患者別で表示されており、各業務をどの患者にいつ実施したのか (どの患者にどの業務をどのくらいの時間所要したのか) を示す。また、ガントチャートの下には、順に、単位時間 (10 分) 当たりの業務転換数の推移、単位時間 (10 分) 当たりの移動遷移数の推移、業務比率の推移を示す。ベテランと新人のグラフ (図 6 の上下) を比較すると、ベテランの業務転換数は多い時で 10 分当たり 20 以上にも上るが、病棟内での位置の平均移動量は多い時でも 10 分あたり 60 回以下に留まっているのに対し、新人の業務転換数はベテランと比較するとやや少なく (最大 15)、逆に位置の平均移動量は極端に安定しておらず (最大 10 分あたり 200 回以上)、全体的に動き詰めでことがわかる。これは、新人の行動傾向として、病室に患者の処置に行こうとした際に、種々の道具を用意し忘れてナースステーションに戻る回数が多いことや、ベテランは数名の患者のケアやその他の業務を事前に組み立てており、一度ナースステーションを離れてからは無駄な手戻りが少なくなるように業務を実施しているのに対し、新人は業務と業務の連携をあまり意識せず単発的にこなしているということの意味しており、現場の師長や主任の観察結果とも一致する結果が得られている。

4.1.2 業務推移比率分析

上記はベテランと新人看護師の各 1 名の比較であるが、複数名の看護師のデータとして、中堅・ベテラン群 (勤続 6 年以上, 延べ 10 名) と新人群 (勤続 3 年未満, 延べ 6 名) での 30 分当たりの業務比率の推移を分析した例を図 7 に示す。図中、緑色は点滴・注射準備や PC 作業など、患者に直接接することのない間接看護業務を、黄色は患者を目の前にして実施する点滴の実施、バイタル測定、清拭やトイレの介助等の直接看護業務の平均時間を表す。図 7 から、ベテラン群は、始業 (8:30) と同時に各種業務の立ち上がりが早く、時間経

過とともに一定量の業務をこなし、11 時のカンファレンス前では業務に余裕が見られるものの、新人のそれは、立ち上がりが遅く、カンファレンス前になるにつれて業務量が増加しており、時間的余裕がなくなっていることがわかる。業務比率を比較すると、新人の業務では黄色の直接看護に所要時間が多く取られていく傾向が見られる。この要因としては、点滴や清拭等の個々の看護手技に時間を要していることと、業務の組み立てが悪く余分に時間を掛けていること等が抽出された。このように、センサデータを用いたアノテーションデータと、センサデータとを組み合わせることで、詳細な業務実施履歴を用いた業務分析を行える。上記データを数多く集めることにより、ベテランの業務組み立てに関するノウハウを抽出し、新人やスタッフ間での業務改善ポイントを共有するための分析も進めている。

4.1.3 看護手技に関する詳細動作分析

以上は、看護業務の統計や業務比率に関するマクロな分析事例であるが、加速度センサの生データを用いたミクロな業務分析事例についても触れておく。看護業務中における手洗い・消毒などの手指衛生行動は、院内感染防止の上で極めて重要であり、その遵守を励行・徹底することが必要とされている¹³⁾。本センサネットワークを用い、看護業務中における手指衛生行動を客観的に計測し、手指の衛生状態が不潔になる動作 (患者患部や汚物への接触) や、清潔であるべき状況 (点滴・注射作成等の薬剤への接触) と、手指衛生行動の実施状況について分析を行った¹⁴⁾。既出の図 2~4 は、病院での看護師の手指衛生行動に関しアノテーション付与と行動識別処理を行った例であるが、通常の手掌だけでなく、手指交差や指先、拇指、手首等を摩擦する衛生的手洗い動作や消毒薬を用いた手指消毒動作の各段階 (約 40 種) について、90%以上の行動識別結果を得ている¹³⁾。これより、各動作をどの程度の時間実施したかを客観的に計測できるため、業務中のどのタイミングにおいて手指衛生行動が欠落したり雑になりやすいのか、手指衛生動作の質的な実施状況の改善や、センサ生データを用いた手洗い行動の振幅・時間長等を用いたミクロな動作分析も可能である¹⁴⁾。

5. 関連研究

センサデータを用いた人の行動分析に関する研究として、Begole らは時差が存在する遠隔地間のユーザのコミュニケーションを円滑にするため、ユーザの PC 操作データを基にオフィスでの日常行動のリズム分析を行っている¹⁶⁾。また、Kooijmans らは、人とロボットのインタラクション分析を目的として種々のセンサデータの可視化ツール Interaction Debugger を開発している¹⁷⁾。これらのシステムは、種々のセンサデータの可視化やアノテーション付与機能を有するが、SyncPlay では、ラベリング作業と行動識別処理とを統合し、アノテー

ションデータの精練や、行動識別モデルの生成と半自動的なラベリングを実現した機能を有する。類似した事例として、音声認識を目的として、音声波形の音素ラベリングに広く用いられているオープンソースソフトウェア WaveSurfer¹⁸⁾がある。WaveSurferはPlug-inによりビデオ等の連動や、スペクトル分析等の描画も可能だが、SyncPlayは、多種のセンサデータへの階層的なラベリングと、種々の特徴抽出処理・散布図描画と連動する機能を有し、業務分析に必要な行動識別やコンテキストを(半)自動で抽出するため、効率的かつ精度の高いラベリングが可能である。

6. おわりに

センサネットワークを用いた看護業務の計測手法、多種センサデータへのラベリング・行動識別処理を統合した行動分析ツール SyncPlay, SyncPlay によって作成した種々の看護業務に関する詳細なアノテーションデータとセンサデータを用いた看護業務分析事例について述べた。本センサネットワークおよび SyncPlay を活用することで、看護業務のみならず種々の業態での業務計測と識別処理による意味付けを半自動的に行え、長期的に収集した業務データを用いた分析が可能である。今後、ベテランのノウハウ抽出や、オンラインでのコンテキスト表示システムを用いた業務改善システムの開発を進めていく予定である。

謝辞 本研究は情報通信研究機構の研究委託「日常行動・状況理解に基づく知識共有システムの研究開発」により、(株)国際電気通信基礎技術研究所 知識科学研究所にて実施したものである。また、実験に協力頂いた病院・看護師の皆様、センサネットワークシステム構築に協力頂いた(有)シーブリッジ 播磨克彦氏、(株)神戸デジタルラボ 北西健二氏、SyncPlayの開発に協力頂いたウェストユニティス(株)宮前雅一氏、看護業務分析ソフトウェアの開発に協力頂いた(株)神戸デジタルラボ フシエ・ジャン・ミシェル氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 笠原聡子, 石井豊恵, 沼崎穂高, 浦梨枝子, 馬醫世志子, 輪湖史子, 横内光子, 鈴木珠水, 大野ゆう子: タイムスタディとは - その背景と特徴, 看護研究 37(4): 11-22 (2004).
- 2) (財)日本医療機能評価機構医療事故防止センター: 医療事故情報収集等事業 平成 18 年年報, http://www.jcqh.or.jp/html/documents/pdf/med-safe/year_report_2006.pdf(2007).
- 3) 和田由紀子, 小山聡子, 本間昭子, 松岡長子, 葛綿隆子, 桑野タイ子: 看護業務の作業効率に関する検討 - 経験年数の異なる看護師の看護業務の比較 -, 新潟青陵大学紀要 4 号, pp.209-218 (2005).
- 4) 諏訪 恵: 看護業務に関する分析 - 投薬に関する看護事故が発生する時間帯から見た看

- 護業務の一考察 -, 日本大学大学院総合社会情報研究科紀要, No.2, pp.232-240 (2001).
- 5) 鳥山亜紀, 山下哲郎, 西之原琢也, 箕 淳夫, 中山茂樹: 空間移動と行為に着目した看護業務分析 看護業務と病棟平面との関連性に関する研究 その 1, 日本建築学会学術講演梗概集 E-1 建築計画 1, Vol. 2006, pp.63-64 (2006).
 - 6) 納谷 太, 桑原教彰, 小作浩美, 大村 廉, 野間春生, 小暮 潔: 看護業務の自動識別に向けた看護業務フロー分析, 第 25 回医療情報学連合大会論文集 (2005).
 - 7) F. Naya, R. Ohmura, F. Takayanagi, H. Noma, K. Kogure: Workers' Routine Activity Recognition using Body Movements and Location Information, Tenth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2006), pp. 105-108 (2006).
 - 8) 野間春生, 大村 廉, 納谷 太, 宮前雅一, 鳥山朋二, 小暮 潔: センサ・ネットワークにおける個人の行動計測のための小型装着型機器の開発, 信学技報, USN2007-27, Vol.107, No.152, pp.29-34 (2007).
 - 9) 田岡康裕, 納谷 太, 野間春生, 小暮 潔, 李 周浩: Bluetooth の電波強度を用いたユーザの位置推定手法, 信学技報, USN2008-36, Vol.108, No.138, pp.147-152 (2008).
 - 10) 納谷ほか: 複数人物の位置追跡のための ZigBee センサネットワークの開発, 日本パーソナルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.1, pp.55-66 (2009).
 - 11) 大村 廉, 納谷 太, 野間春生, 小暮 潔: 看護業務支援のためのセンサネットワーク・アーキテクチャ, 情報処理学会研究報告, UBI23-8 (2009).
 - 12) 大村 廉, 納谷 太, 野間春生, 小暮 潔: EnVis: センサデータに基づく看護業務分析支援システム, 日本パーソナルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.1, pp.67-78 (2009).
 - 13) 濱 恵美子, 納谷 太, 野間春生, 小暮 潔, 土田敏恵: 加速度センサを用いた手指衛生行動識別手法の検討, 情報処理学会研究報告, CVIM2008(82), pp.239-244 (2008).
 - 14) Tsuchida et al.: "Development of a New Monitoring System for the Evaluation of Hand Hygiene Compliance; Hand Hygiene Activity Recognition Using a Triaxial Accelerometer Network System," American Journal of Infection Control, Vol.37, Issue 5, pp.E157-E158 (2009).
 - 15) 日本看護科学学会看護学術用語検討委員会(編): 看護行為用語分類 - 看護行為の言語化と用語体系の構築 - (2005).
 - 16) J. B. Begole, J. C. Tang and R. Hill: "Rhythm Modeling, Visualizations and Applications," Proc. USIT'03, pp. 11-20 (2003).
 - 17) T. Kooijmans, T. Kanda, C. Bartneck, H. Ishiguro and N. Hagita: "Interaction Debugging: an Integral Approach to Analyze Human-Robot Interaction", Proc. of the ACM 1st Annual Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2006), pp.64-71 (2006).
 - 18) Centre for Speech Technology, KTH Royal Institute of Technology: WaveSurfer, <http://www.speech.kth.se/wavesurfer/index.html>
 - 19) The University of Waikato. *Weka 3: Data Mining Software in Java*.
 - 20) C.Chang and C.Lin. LIBSVM: A library for support vector machines. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm> (2001).