

北限の海女仮想体験システム「海女 via-WHB」の潜水動作学習

平舘侑樹^{†1} 東山聖生^{†2} 外里有蘭^{†2} 細川靖^{†2} 土井章男^{†3} 高田豊雄^{†3}

現在、三陸地域において小中学生が安全に水産業を学ぶ機会には少なく、後継者不足などの問題が深刻化している。そこで我々は、時間や場所を問わず安全に漁業を体験するために海女仮想体験学習システム「海女 via-W」を試作した。次に試作した「海女 via-WH」では、泳ぎの手本として北限の海女のモーションデータを用い、仮想モデルによって手本と学習者の動作を表示することで潜水動作学習を容易にした。本研究で試作した「海女 via-WHB」では海女が海面に対し鉛直方向に潜る動作のモーションキャプチャを行い、水平方向と鉛直方向の2種の潜水動作練習を取り入れた。イベントで実施したアンケート調査では、上手に潜れたという「技術向上」の意見が多く得られたほか、「海女 via-WH」の結果よりもウニの獲得数向上が確認できた。このことから、「海女 via-WHB」は「海女 via-WH」に比べ効果的に海女の潜水動作学習を可能としたことが分かった。

Diving Motion Learning for the Female Diver Virtual Experience Learning System “Amavia WHB”

YUKI HIRADATE^{†1} SHOUJI HIGASHIYAMA^{†2} URAN TOZATO^{†2}
YASUSHI HOSOKAWA^{†2} AKIO DOI^{†3} TOYOO TAKATA^{†3}

1. はじめに

仮想空間内ではマウスやキーボードを使用しての操作に比べ、自身の体の動作に連動した方が直感的な操作が可能となる。これまで、モーションキャプチャを用いて仮想空間に動作を再現する研究[1]や、慣性センサを用いてバイオリンの運弓動作を測定し練習を支援する研究[2]など、動作を可視化する研究が多く行われており、動作を可視化することは複雑な動作の学習の助けとなっている。

現在、三陸地域において小中学生が安全に水産業を学ぶ機会には少なく、岩手県久慈市小袖海岸で今も活躍する北限の海女では後継者不足などの問題が深刻化している。その北限の海女への興味関心を喚起するため、我々は仮想空間内で、海女のウニ漁を体験する海女仮想体験学習システム「海女 via-W」を試作してきた[3]。前述のように、動作を可視化する研究は行われてきたが、海女の動作を可視化する研究は行われていない。そのため、本研究では海女の動作を可視化し、小中学生を対象にした海女仮想体験学習システムへの応用を想定する。

そこで、本研究では「海女 via-W」を基にウェアラブルセンサを追加し、学習者の腕動作をリアルタイムで計測し可視化した、腕動作学習支援チュートリアルを付加した「海女 via-WH」を試作し、さらに、可視化結果を用いた下向き腕動作の検出法を実装した「海女 via-WHB」を試作した。

2. システム構成

本研究のシステム構成を図1に示す。ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMDと略す）に仮想空間内の海の映像を表示し、手の甲と肘に付けたウェアラブルセンサ「Colibri」によって、立位で手掌を地面に対して水平に伸ばした状態で水を後方に押し出すように腕を回す動き（以下、水掻き動作と略す）を検出し、海中を泳ぐように移動する。また、手掌に装着したデータグローブにより指の動きを認識して海産物の取得を行う。

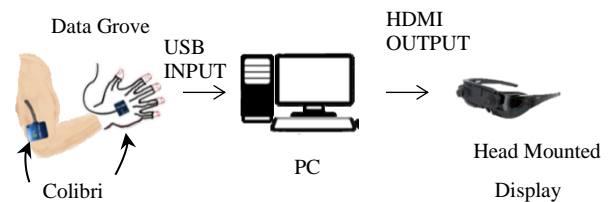


図1 システム構成

Figure 1 System configuration.

3. 水掻き動作の可視化

3.1 海女モデル適用

図2に示す海女モデルに水掻き動作を適用する方法として、海女モデルにボーンを追加し、その関節の角度を毎フレーム更新する方法を採用した。毎フレーム、各頂点に各ボーンの付け根を中心とした回転行列を乗ずることで、任意の角度だけ海女モデルを動かすことを可能とした。

海女モデルに水掻き動作を適用するためには、各関節の角度を求める必要がある。関節の角度を求める手法にモー

^{†1} 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

^{†2} 八戸工業高等専門学校
National Institute of Technology, Hachinohe College

^{†3} 岩手県立大学
Iwate Prefectural University

ションキャプチャや、ウェアラブルセンサを用いる方法がある。モーションキャプチャを用いる方法では、精度が高いが、計測と適用に時間がかかる。ウェアラブルセンサを用いる方法では、各関節の角度の算出をリアルタイムでできる。本研究では実際の海女の水掻き動作（以下、教師動作と略す）と学習者の水掻き動作の可視化を行う。教師動作は、リアルタイムに関節の角度を求める必要が無いのでモーションキャプチャによって各関節の角度を求める。学習者の水掻き動作ではリアルタイムに各関節の角度を求める必要が有るため、ウェアラブルセンサを用いる。



図 2 使用する海女モデル

Figure 2 Virtual AMA human-body model.

3.2 教師の水掻き動作の可視化

教師動作を仮想空間に適用するためモーションキャプチャを用いて各関節の角度を求める。モーションキャプチャは、カメラ 2 台で撮映した小袖北限の海女の会の大下成子氏と欠畑きわ子氏が室内で行った水掻き動作動画と、エル・エービー社の「PV STUDIO 3D ver.2.29」を用いた。

モーションキャプチャにより求めた各関節の角度を用いることで、教師動作を仮想空間へ適用することが可能となった。また、モーションデータを変更することで教師動作の変更も可能となった。そのため、様々な動きの海女モデルの表示が可能である。

3.3 学習者の水掻き動作の可視化

学習者の水掻き動作の可視化では、順運動学を基に学習者の各関節の角度をセンサ値から求め、仮想空間内の海女モデルの関節角度に割り当てることで腕動作を仮想空間に適用する。本研究では手の甲と肘に装着した 2 つの「Colibri」の傾き (yaw, pitch, roll) から腕の各関節の角度を算出する。上腕 (L1)、前腕 (L2)、手 (L3) を図 3 に示すように定義する。

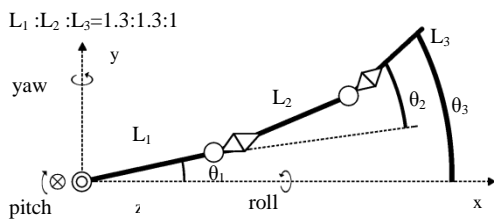


図 3 腕モデルの定義

Figure 3 Definition of an arm model.

θ_1 , θ_3 は手の甲と肘に装着した「Colibri」から求めることができる。 θ_1 は肩関節の角度である。 θ_2 は肘関節と手首の角度を合わせた角度である。 θ_3 は θ_1 , θ_2 を合わせた角度である。始めに、 θ_1 の角度を肩関節の角度とする。次に θ_2 から肘関節、手首の角度を決定する。肘関節と手首のうち roll 方向に回転するのは肘関節だけ、pitch 方向に回転するのは手首だけであるので θ_2 の roll, pitch 成分を肘関節の roll、手首の pitch に割り当てる。残った θ_2 の yaw 成分は肘関節と手首の yaw 方向の角度に分割してそれぞれの関節の yaw に割り当てる。本研究で定義した水掻き動作では手首は yaw 方向にほとんど回転しないため、分割の割合を肘関節が 8 割、手首を 2 割とした。

4. 水掻き動作の検出

4.1 水掻き動作状態の遷移

掻き動作は図 4 に示すように手掌を体の前で交差させた状態と腕を横に広げた状態を繰り返している。本研究では、手掌を交差させた状態から腕を横に広げた状態へ遷移した時に水を掻いて移動する力が発生すると考え、手掌を交差させた状態から腕を横に広げた状態への遷移を検出する。

水掻き動作の検出には、「Colibri」のデータを海女モデルに適用して求めた手掌の位置座標と手のひねりの 2 つを判断材料にする。手の位置は図 5 に示すように、手を水平に伸ばした状態を、手のひねりは手掌を地面に向けた状態を初期状態とする。

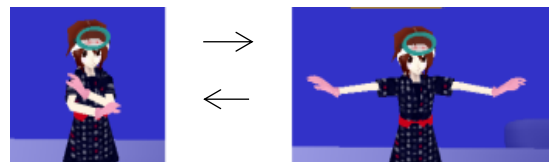


図 4 水掻き動作の状態遷移

Figure 4 Change state of a diving movement.

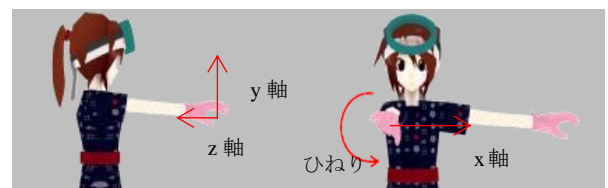


図 5 海女モデルの初期状態と軸の定義

Figure 5 Initial state of virtual AMA model, and definition of X-Y-Z axis.

4.2 水掻き動作判定

動作は手の位置 x 座標、y 座標、z 座標が、それぞれの最大値と最小値内で条件を満たしているかで判定する。その条件は、図 6 に示すモーションキャプチャした実際の北限の海女の動きを海女モデルに適用した後の手の位置のデータを参考に次のように条件を定めた。

(1) x 座標

水掻き動作では x 座標の移動量が最も大きく、y 座標、z 座標のように移動量が増えたり減ったりせず、単調減少しているため、単調減少かつ最大値と最小値の差が 40cm 以上であることを条件とする。

(2) y 座標

定義した水掻き動作では、y 座標の移動量の変化が少ないため、最大値と最小値の差が 30cm 以内であることを条件とする。

(3) z 座標

水掻き動作では、水を前から後ろに押し出す必要があるため、z 座標の最大値が 15cm 以上、最小値が 8cm 以下を条件とする。

手のひねりは x 座標が大きく変化したときのひねりの角度の平均値が適正な範囲内にあるかを判断する。適正な範囲は $-90 \sim 0^\circ$ とした。上記の手の動きとひねりの両方が条件を満たしている時、水掻き動作を検出する。

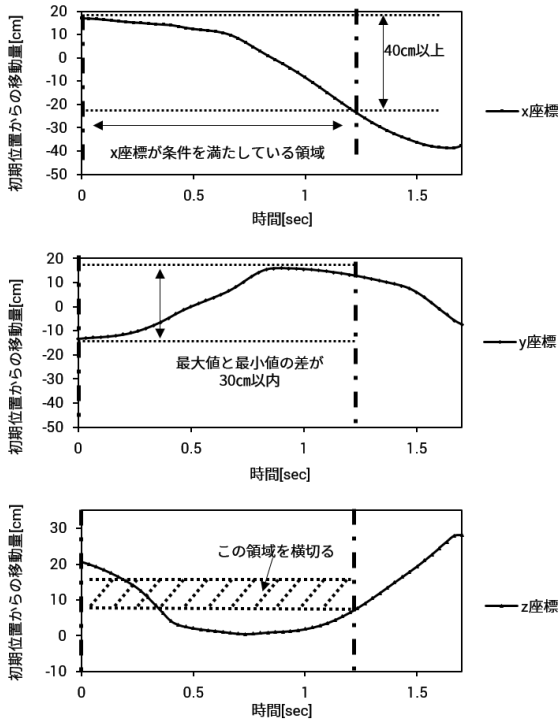


図 6 海女の腕動作における手首の位置データ
Figure 6 Position data of wrist in an arm movement of AMA.

5. システム初期評価と考察

5.1 海女による初期評価と考察

試作した「海女 via-WH」初期評価のため、平成 28 年 3 月 8 日に岩手県久慈市小袖海女センターにて北限の海女の 大下成子氏に体験を依頼し、以下の意見やコメントを得た。

- (1) 教師動作の可視化はできている
- (2) 教師動作が実際に潜るときの水掻き動作よりも遅い

- (3) 大下氏の水掻き動作の判定ができなかった

- (4) 海底の状態は 2011 年の東日本大震災前後で大きく変化している。震災後は岩や海藻が流されて、岩や海産物が少なくなり、砂地が多く露出している。

これらの中で最も重要であるのは、大下氏の水掻き動作が検出されなかったことである。その理由は、主に x 座標の閾値が大きかったのが原因であると考えられる。教師動作では水掻き動作が遅かったため、手を横に大きく掻いていたが、実際に潜るときのように素早く何度も掻くと腕を広げるための時間が短くなるため、手掌の x 座標の移動量が少なくなると考えられる。このことから、水掻き動作の検出法の改善が必要であることがわかった。

5.2 小中学生による初期評価と考察

小中学生によるシステムの初期評価のため、平成 28 年 5 月 22 日に青森県東北町の青森原燃テクノロジーセンターで行われたサイエンスフェスティバル 2016 で体験学習会を実施した。システム体験後にアンケート調査を行った。回答は 5 段階で、5 が肯定的な意見、1 が否定的な意見として評価を行なった。被験者は 22 人で主に小中学生である。

全部で 8 項目の質問項目のうち、2 項目に注目する。腕動作を海女モデルに適用し可視化したことで学習が容易になったか評価するため「先生はわかりやすかったですか」という質問、提案した水掻き動作の判定法の評価のため「上手に潜れましたか」という質問の結果を図 7 に示す。

「先生はわかりやすかったですか」という質問の平均値は 3.36 で多くの人がわかりやすいと答えている。このことから、教師動作を可視化することで水掻き動作の学習が容易になっていると考えられる。

「上手に潜れましたか」という質問の平均値は 2.43 で多くの人が上手に潜れていなかったと答えている。このことから学習者が思っているように水掻き動作判定がされなかったと考えられる。判定法では腕を交差させた状態から腕を横に広げた状態に移るときを判定しているが、本システムでは、立位で下に向かって泳ぐ動作をするので、手が下向きになり、判定の閾値から外れたと考えられる。多くの学習者が上手に潜れていないと答えているのは直感的操作ができていないので、腕動作判定法の改善が必要となった。

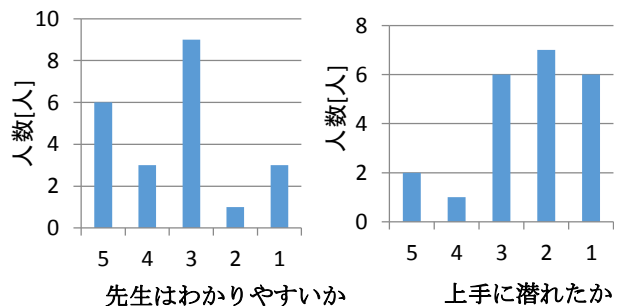


図 7 サイエンスフェスティバル 2016 アンケート結果
Figure 7 Science festival 2016 questionnaire result.

6. 下向き水掻き動作検出の実装

5.2 のアンケート評価で腕を水平に動かしたときの判定だけでなく、腕を下向きに動かしたときに判定できるようにする必要が有ることが分かった。改善法として HMD のジャイロセンサから得られる頭の角度を用いる方法を提案する。現在判定している水掻き動作は腕が水平である必要がある。そのため、ジャイロセンサからわかる頭の角度を学習者の肩関節の角度から引いた値を海女モデルに割り当てることで、頭の角度と肩の角度が等しい時に腕を水平にする。これにより、図 8(a)に示すように頭の角度と肩の角度が等しい時、腕が水平となり、これまでの判定法を用いて水掻き動作であると判定できるため、腕を下向きに動かしたときも検出することが可能である。また、下を向いて腕を下から上へ広げるときと、腕を水平に広げるときでは、肩の可動域が異なる。そのため、下を向いているときに水掻き動作の検出の x 座標の条件を緩和する。

下向きの水掻き動作の判定を追加したため、この判定法に対するチュートリアルが必要となった。そのため、新たに海女が下向きに腕を動かしている動作のモーションキャプチャを行い、そのモーションデータを用いることで図 9 のような下向きの水掻き動作のチュートリアルを実装した。

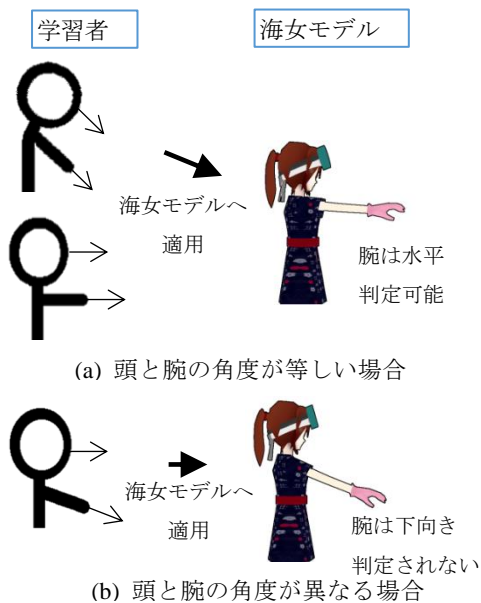


図 8 頭の角度による海女モデルの腕の角度の変化
Figure 8 The difference in angle of arm of virtual AMA



図 9 下向きの水掻き動作のチュートリアル
Figure 9 The tutorial of a downward diving movement.

7. 改善した検出法の潜水動作学習評価

平成 28 年 8 月 7 日に岩手県久慈市小袖海岸で行われた海女フェスティバルで体験学習会の実施や、平成 28 年 12 月 13 日に岩手県久慈市小袖海女センターにて小袖北限の海女の会の欠畑きわ子氏に体験を依頼し、改善した腕動作の検出法による「海女 via-WHB」の潜水動作学習評価を行った。

海女フェスティバルでは「海女 via-WHB システム体験後に 5 段階評価のアンケートを行なった。被験者は全て小学生 7 人で、質問内容はサイエンスフェスティバルと同様とした。この中で「上手に潜れましたか」という質問項目の結果を図 10 に示す。

アンケートの結果は平均値が 3 である。仮説平均との差異を 0 としてサイエンスフェスティバルと海女フェスティバルの結果について t 検定を行なったところ、p 値は 0.037 となり、この平均値には有意差があるといえる。また、ウニの取得個数の平均はサイエンスフェスティバルでは 1.35 個であったのに対して海女フェスティバルでは 9.43 個で、約 7 倍に大幅に向上した。このことから、腕動作の判定法を下向きに水掻き動作を行っても判定できるように改善したことで、直感的操作が可能となり、学習者が「潜水動作技術向上」したと考えられる。

北限の海女の体験では、改善前は検出されなかった水掻き動作や新しく追加した下向きの水掻き動作を検出できた。

今後は、下向きの水掻き動作のチュートリアルの実装により、水掻き動作の学習効果を確認するために小中学生を対象にしたアンケートを実施する必要がある。

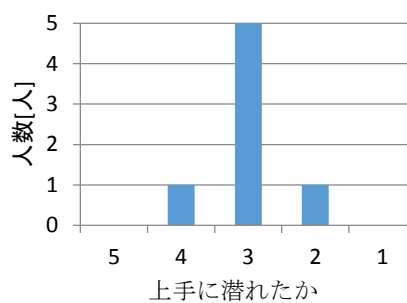


図 10 海女フェスティバルのアンケート結果
Figure 10 The questionnaire result of an AMA festival.

8. まとめと展望

本研究ではウェアラブルセンサやモーションキャプチャを用いて腕の角度を測定し、腕動作を仮想空間内に適用し、水掻き動作の可視化を行なった。また、学習者が正しい動作をできているかを判定するための水掻き動作の検出法を提案した。システム評価のための小中学生や海女を対象としたアンケート調査から、水掻き動作の可視化により潜水動作学習が容易になった事がわかった。また、水掻き動作

の判定法の改善を行い、直感的操作を可能とした。

今後の課題として本研究で実装した下向きの水掻き動作のチュートリアルにより、水掻き動作の学習効果を調査する必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたり、青森原燃サイエンスフェスティバル関係者の皆様、久慈市漁業協同組合小袖漁業生産部の皆様、モーションキャプチャのための動画撮影やシステム評価にご協力いただいた小袖北限の海女の会会長大向広子氏、中川やえ子氏、大下成子氏、欠畑きわ子氏ら、北限の海女の皆様、実地調査やアンケート調査にご協力いただいた皆様に謹んで感謝の意を表します。また本研究は、JSPS 科研費 18K13252 の助成を受けたもので、関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 鶴田清也, 崔雄, 八村広三郎: 没入型仮想環境における 3DCG キャラクタアニメーションの表示手法, 情報処理学会研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC) 2006 (24(2006-EC-003)), pp.91-96 (2006).
- 2) 宮里洗司, 大城聖也, 野口健太郎, 神里志穂子: 慣性センサによるバイオリンの運弓動作指導の検討, 情報科学技術フォーラム講演論文集 10(3), pp.783-784(2011).
- 3) 野澤拓人, 細川靖, 土井章男, 高田豊雄, 阿部芳彦: 海女仮想体験学習システム「海女 via-W」の水掻き動作検出, 平成 24 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, ヒューマンインタフェース・ロボット, 1F01(CD-ROM)(2012).