

飛行型ロボットにおけるラバン理論を考慮した身体動作表現

Body motion expressions considering the Laban theory in flight robots

日永田智絵^{1*} 工藤俊亮¹ 末廣尚士¹
Chie Hieida¹ Shunsuke Kudoh¹ Takashi Suehiro¹

¹ 電気通信大学

¹ The University of Electro-Communications

Abstract: This paper describes body motion expressions for flight communication robots. Five body motion expressions are designed based on the Laban theory. We carried out some subjective evaluation experiments that clarified the relationship between the parameters and subjective feeling of the expressions. In future, drones will be able to express their emotional states to human users. Such expressions are expected to enrich the communication between the flight robots and human users.

1 はじめに

近年、飛行型ロボットが注目されている。飛行型ロボットは段差などの障害物をもろともせず自由に飛び回り、商品運送や道案内をするなどの運用が考えられている [1][2]。我々は常に身近に存在できるという飛行型ロボットの機能に着目し、飛行型ペットロボットのコミュニケーションについて研究を行うこととした (図 1)。

現代はストレス社会といわれており、その中でコミュニケーションロボットやセラピーロボットの研究が多く行われてきた [3]。コミュニケーションロボットといっても、要素は多岐に渡る。その要素の一つとして、人との意思疎通をするという要素がある。人は話することでストレス緩和ができることが知られており、コミュニケーションロボットの多くは人の話し相手になることを目的としている。ロボットが人の話し相手となるためには、人の情動表現を汲み取り、適切な表現を返すことが必要だと考えられる [4][5]。よって本研究では、飛行型ロボットのコミュニケーション能力の一つとして、身体動作表現の検討を行った。人に対して返答する表現として、顔の表情なども考えられるが、動作表現は距離があっても認識でき、感情によっては顔よりも強固に表すことができる [6]。

この研究によって、図 1 のような様々な場面で身体動作表現を加えることができる。例えば、犬にフリスビーを投げると、吠えて取りに行き尻尾を振って帰っ

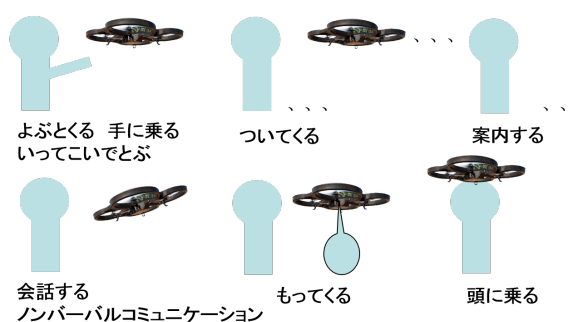


図 1: 飛行型ペットロボットの将来ビジョン

てくることがある。これは、犬が喜んでフリスビーを持ってきているように見えて考えられる。これと同様に、飛行型コミュニケーションロボットが喜びながらついてくるなどといった、日常的な場面での表現の付加をすることができる。このことは日常的に一緒にいるロボットとして、自然なコミュニケーションとなり有用である。

現存する常時飛行型の生物で、人とのコミュニケーションをとるものは少ない。そこで本研究の広義的な目的は、飛行型ロボットのような人と身体的に遠い物体が、人とのコミュニケーションをとるために必要な要素を解明することとする。このような、コミュニケーションをとるために必要な要素を解明することによって、人のコミュニケーションの起源や新たな要素を明らかにすることにつながると考えられる。

*連絡先：電気通信大学 情報システム学研究科
情報メディアシステム学専攻 知能システム学講座
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
E-mail: hieida@taka.is.uec.ac.jp

本研究では身体動作表現の生成にラバン理論を考慮した [7]。また、飛行型ロボットには、飛ぶことならではの動作表現が生成できると考えられる。例えば相手との相対的位置関係を考慮した振る舞いである。飛行型ロボットは自身のいる高度を変えることができるため、相手の目線に対する上下で表現をすることが可能である。こうした要素を踏まえ、生成した動作の印象を実験により検証した。本論文では実施した実験に関する詳細と結果を報告する。

2 飛行型ロボットの身体動作表現

本研究では、飛行型ロボットの中でもクワッドローターのロボットを想定して、動作を検討した。ロボットの動作表現を生成するための指標として、ラバン理論という理論がしばしば用いられている [7]。我々はこのラバン理論を考慮して飛行型ロボットの身体動作表現を作成した。

2.1 エフォートとシェイプ

ラバン理論とは舞踊学の理論であり、Rudlf von Laban が 1920～40 年代に構築した心理状態と身体運動の相関関係を規定する理論である。また、このラバン理論の根幹には、ダーウィンが 1872 年に提唱した動物の身体表現の構造に関する理論がある。

今回はラバン理論の中でもエフォートとシェイプの理論を用いた。エフォートは動作の力学的特徴を表し、シェイプは身体的全体的な形状についての特徴を意味する。エフォートとシェイプはそれぞれ 3 要素もっており、その要素は戦闘形態と陶酔（服従）形態の 2 極構造となっている。

エフォートは身体動作の力強さである「力加減エフォート (Weight Effort)」，方向的偏りの度合いを表す「空間エフォート (Space Effort)」，変化の慌たしさを表す「時間エフォート (Time Effort)」の 3 要素で構成されている (表 1)。シェイプは正面上のシルエットの広がりである「ドア面シェイプ (Door Plane Shape)」，側面上のシルエットの前後変動を表す「車輪面シェイプ (Wheel Plane Shape)」，水平面上のシルエットの広がりである「テーブル面シェイプ (Table Plane Shape)」の 3 要素で構成されている (表 2)。それぞれの要素は独立して心理表現としての意味を持っている。

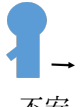
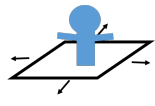
2.2 身体動作

今回、以下のような、ロボットの重心が大きく動かない動作をピックアップした (表 3)。我々は、エフォートとシェイプを動作方向、動作時間、動作速度を用いて表現できると考えた。そこで、それぞれの動作はラバン理論を考慮し、動作方向、動作時間、動作速度の異なる動作である。

表 1: エフォートの分類

	力加減	空間	時間
戦闘形態	強い →能動的心理	直線的 →集中	突発 →警戒
陶酔形態	弱い →受動的心理	湾曲的 →散漫	継続 →安穩

表 2: シェイプの分類

	テーブル面	ドア面	車輪面
戦闘形態	 集中	 能動	 不安
陶酔形態	 探索	 落胆	 自信

- eWAVE
前後左右方向に波が伝搬するように円形に動く
- eYAWSHAKE
ヨー軸の振り子運動
- ePITCHSHAKE
ピッチ軸の振り子運動
- eROLLSHAKE
ロール軸の振り子運動
- eFOW-LEFT-BACK-RIGHT
前左後右の順に傾く

各動作をラバン理論に当てはめると表 4 のようになる。このとき、力加減エフォートは命令速度の大きさ、時間エフォートは単位時間あたりの命令回数で分類している。

中田ら [7] の研究により、エフォートとシェイプの動作と情動の相関が算出されている。

- 力加減エフォートは喜びと驚きに対して正の相関、悲しみに対して負の相関
- テーブル面シェイプは驚きと正の相関
- ドア面シェイプは驚きと正の相関
- 車輪面シェイプは怒りと負の相関

これにより、今回作成した動作は表 4 のように評価できる。

表 4: エフォートとシェイプへの割り当て

エフォート	力加減	空間	時間
戦闘形態	eYAWSHAKE ePITCHSHAKE eFOW-LEFT-BACK-RIGHT 喜び 驚き	eYAWSHAKE ePITCHSHAKE eROLLSHAKE	eYAWSHAKE ePITCHSHAKE eROLLSHAKE eFOW-LEFT-BACK-RIGHT
陶醉形態	eWAVE eROLLSHAKE 悲しみ	eWAVE eFOW-LEFT-BACK-RIGHT	eWAVE
シェイプ	テーブル面	ドア面	車輪面
戦闘形態	驚き	eROLLSHAKE ePITCHSHAKE 驚き	ePITCHSHAKE
陶醉形態	eWAVE eFOW-LEFT-BACK-RIGHT	eROLLSHAKE ePITCHSHAKE	ePITCHSHAKE 怒り

表 3: ドローンの作成動作

名称	動き	名称	動き
eWAVE		eYAW SHAKE	
ePITCH SHAKE		eROLL SHAKE	
eFOW-LEFT-BACK-RIGHT			

3 実験

3.1 システム

飛行型ロボットとして、Parrot 社の AR.Drone2.0 を用いた (図 2)。この AR.Drone2.0 (以下ドローン) は下方と前方に各一つカメラを有し、下方には地面との距離を測るための超音波センサが取り付けられている。内部には 3 軸の加速度センサとジャイロセンサを有し、ドローンの速度と傾きを計測することができる。Wi-Fi と LinuxOS を搭載しており、制御は無線通信を用いて PC からコマンドを送ることによって行う。

3.2 実験プロトコル

今回作成した身体動作表現が、人にどのような印象を与えるかを実験によって検証した (図 3)。実験は

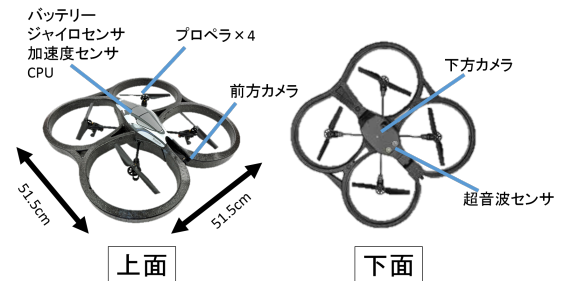


図 2: ドローンの仕様

被験者に対しドローンが動作表現を行い、ひとつひとつの動作に対して被験者がアンケートに回答した。ドローンの身体動作表現は 10 動作をランダムに行った。この内 5 動作は異なる動作で、残りの 5 動作は相対的位置関係 (高さ) が異なるものである。これは、相対的位置関係によって同じ動作であっても、異なる印象を感じるかどうかを検証するためである。今回高さは低い位置 (Low) と高い位置 (High) を設定し、それぞれ約 0.65m, 1.65m とした。実験中はカメラによる記録と心拍センサの記録を行った。被験者には雑音の影響を最小限にするためにイヤフォンを着用してもらった。また、ドローンと被験者の距離は平均 1.2 m 程度と設定した。これは一般の大人のパーソナルスペースの距離が 1.2 m といわれているため、インタラクションを行う上での目安となるからである。

アンケートの内容は以下のように設定した。

—動作評価アンケート—

Q: 印象をもちますか? (複数回答可)

喜び 驚き 怒り 悲しみ
退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快



図 3: 実験の様子

Q: どの印象が最も強いですか?

また、それはどの程度ですか?

喜び 驚き 怒り 悲しみ

退屈 くつろぎ 心配 気楽

肯定 否定 快 不快

どれでもない-少し-中程度-とても

実験後には、ドローンの印象を聞くアンケートを実施した。実験後アンケートは5段階評価（5 あてはまる 4 少しあてはまる 3 どちらでもない 2 少しあてはまらない 1 あてはまらない）とし、Q4 は評価内容を高さとした（5 腰より下の高さ 4 腰の高さ 3 胸の高さ 2 目線の高さ 1 目線より上の高さ）。Q8 に関しては自由記述とし、その他にも自由記述欄を設けた。

—実験後アンケート—

Q1: ドローンは怖かったですか?

Q2: ドローンにみられている時があったと感じましたか?

Q3: ドローンは大きいと感じましたか?

Q4: ドローンがどの高さにいるときに最も好感がもてますか?

Q5: ドローンに親近感を感じましたか?

Q6: ドローンとの物理的な距離が近すぎると感じましたか?

Q7: ドローンは生き物のように感じましたか?

Q8: ドローンを生き物にたとえたとしたら?

3.3 結果

動作評価アンケートの結果を図 4, 5 に示す。このとき、図 4 は複数回答アンケートから、図 5 は最も強いものを選んでもらうアンケートから結果を算出している。これらの結果より、動作ごとに想起させる印象が異なることがわかる。

図 4 を表 4 と照らし合わせると、ePITCHSHAKE に怒りの評価が見られなかったり、eROLLSHAKE よりも eYAWSHAKE の方が悲しみが感じられたり、我々がラバン理論を基に作成した指標による評価と必ずし

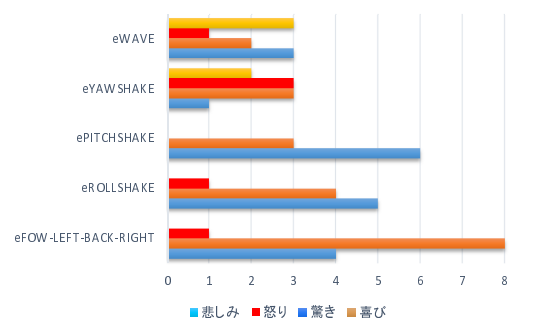


図 4: 動作評価アンケート（複数評価）

も一致する結果ではなかった。このことより、別の手法で動作速度などといった動作のパラメータと印象の関係を明らかにする必要がある。

図 5 では動作ごとに対する印象を高さで分けて集計した。その結果、図 5 (a) (b) は、高い位置と低い位置ではほぼ同程度の分布を示している。対して、図 5 (c) (d) (e) は、高さで異なる分布を示した。図 5 (c) (d) (e) に共通するのは、高い位置だと程度が強くなって感じるという点である。また、図 5 (b) (c) では、それぞれ否定と肯定に回答が集中した。しかし、(b) では高さに関係なく同程度否定と回答しており、(c) では低い位置だと肯定の回答数が下がった。

続いて、実験後アンケートの結果を報告する（図 6）。Q1, Q5, Q7 より被験者はドローンを怖いものとは感じず、生き物らしさや親近感を持っていたことがわかる。また、Q4 より好感がもてるドローンの高度は、目線よりも下で、かつ目線から離れすぎない位置であった。

さらに、アンケートの項目同士に無相関検定を行った結果、Q3 と Q6, Q5 と Q7 で正の相関がみられた。Q3-6 の相関はドローンを大きいと回答している被験者は距離が近いと回答しているということになる。今回実験では、距離を平均 1.2m と設定した。つまり、距離が近いと回答している人はパーソナルスペースを侵害されている感覚があると考えられる。よって、大きさは物理的なサイズ感だけでなくドローンの存在感を意味し、存在感が大きく圧迫感がありパーソナルスペースを侵害されていると感じたと解釈できる。Q5-7 の相関は生き物らしいと感じれば感じるほど親近感をもっているというものであった。これは今までも HRI で議論されており、生き物らしいと感じるアニメーション知覚と共感細胞といわれるミラーニューロンの関連も明らかにされている [8]。

次に、動作速度などといった動作の各パラメータと印象の関係を解析した結果を報告する。解析では、動作評価アンケートより複数回答部分のデータを用い、動

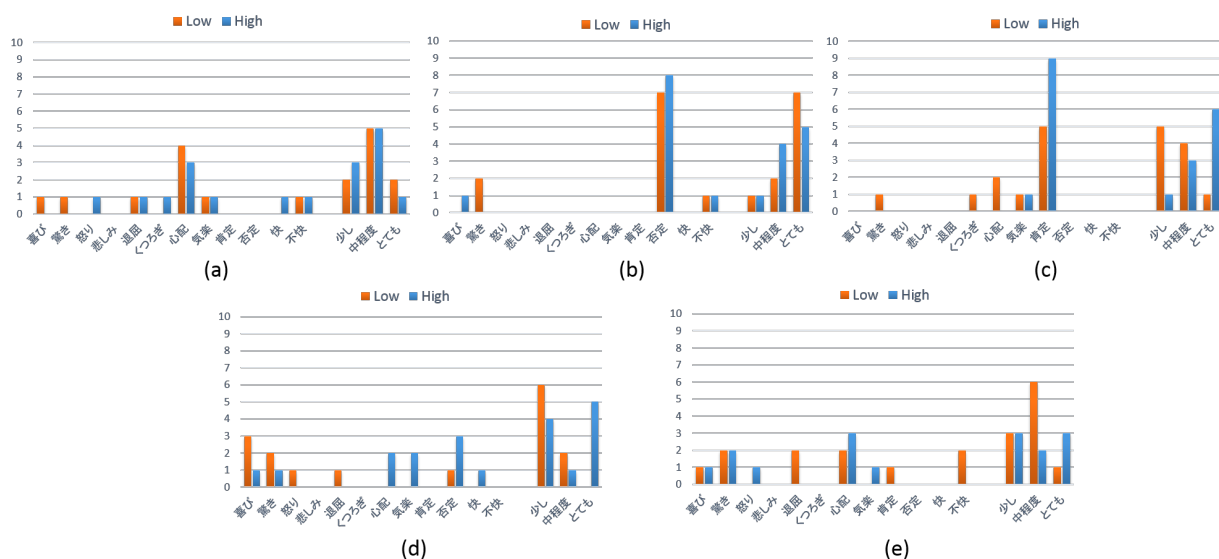


図 5: 動作の評価
(a)eWAVE (b)eYAWSHAKE (c)ePITCHSHAKE (d)eROLLSHAKE (e)FOW-LEFT-BACK-RIGHT

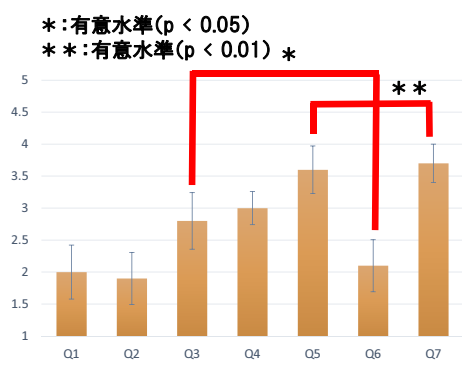


図 6: 実験後アンケート

作をそれぞれの印象に振り分け、各印象の動作の X, Z 方向の速度平均および分散, Roll, Pitch, Yaw 角の分散を求めた。これらの値を特徴量とし、感情に対して多次元尺度構成法による可視化を行った。結果を図 7 に示す。この結果はラッセルの円環モデルに類似している [9] (図 8)。

4 考察

動作評価アンケートの結果より、高い位置での動作は低い位置と比べて、印象を強く与えることができた。人は気持ちをより伝えようとした際、相手の目線に近づき話することができる。したがって、ドローンが目線に近づくことによって、意図を伝えようとする意思が強いと感じられたと考えられる。

また、図 5 (b) (c) では、それぞれ否定と肯定に回答が集中した。これは被験者がドローンの動作を人の動

作にマッピングしたためだと考えられる。これによって、人と身体的に遠いものだったとしても、情動などの相手の内部状態を推定する際には、人にマッピングしていることが示唆された。

さらに、高さを変化させて動作表現を行うことで、異なった印象を与えることができた。これは高さによって、マッピングされる部位が変化しているためだと考えられる。今回の場合、図 5 (b) では高さに関係なく同程度否定と回答しており、図 5 (c) では低い位置だと肯定の回答数が下がった。これは、高い位置だと人の頭に対応付け、低い位置だと全身として対応付けたためだと考えられる。つまり、人にマッピングする際、人のどの部位にマッピングするかが目線に対する位置で異なってくるのではないだろうか。

また、ラバン理論を用いた評価と実験結果が異なっていた。そこで、動作の X, Z 方向の速度平均および分散, Roll, Pitch, Yaw 角の分散を特徴量し、多次元尺度構成法による可視化を行った。その結果、ラッセルの円環モデルに類似した図が得られた。この結果を用いることで、動作からどのような印象を与えるかの推定や印象から動作を作成することが可能となってくる。ただし、今回はサンプル数が少ないため、今後サンプル数を増やし、作成したモデルが有用であるかを検証する必要がある。

今まで、コミュニケーションを行う際の位置関係は二次元平面の検討であった。しかし、飛行型ロボットがコミュニケーションロボットとして参入することで、三次元空間の位置関係の考慮が必要となってくる。こうした、三次元空間の位置が関係性にどのような影響を与えるのかを、今後さらに検討していきたい。

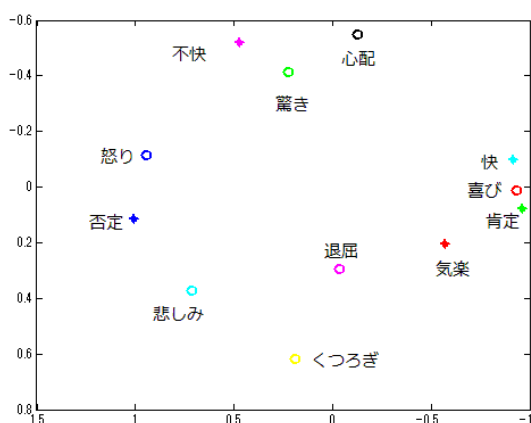


図 7: 多次元尺度構成法による可視化

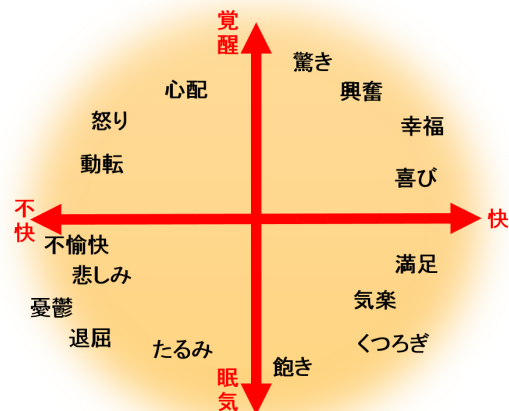


図 8: ラッセルの円環モデル

コミュニケーションロボットはこれまで多く研究されてきたが、結論として外見や身体性を人間に似せることによって親近感を得られ、コミュニケーションが取りやすくなるというものが大半であった。同族であるということは親近感につながると考えられる。しかし、同族の形をしているが故にロボットは人間と比べられ、異なる部分を違和感として指摘されてきた。

ロボットにはロボットの得意なものがあるはずである。機械で作られた身体は屈強で、様々な可能性を感じさせる。それこそ、人間が単独ですることのできない「飛行」を単独ですることができる。コミュニケーションロボットに人とは違う身体性を持たせることには、大きな意味があるのではないだろうか。

そうした可能性をもったロボットたちに情動などの身体動作表現をさせるのは、人間社会に溶け込ませるためである。今まで人に似せないことについて述べてきた。しかし、人に受け入れてもらうために意思の疎通を行うことは重要である。そこで今回、身体動作表現に注目した。結果として、人に似ていないものでも情動などの表現ができ、人が理解することができるということがわかった。本研究によって、コミュニケーションロボットの幅が広がることを期待する。

5 まとめ

本研究では、飛行型コミュニケーションロボットの検討として、飛行型ロボットによる身体動作表現の検討を行った。重心移動のあまりない、ラバン理論を考慮した5動作を生成し、身体動作表現とした。生成した動作を人に対して行い、身体動作表現の評価を行った。結果として、動作によって異なる印象を与えることができ、高さによる印象の変化も確認された。また、動作の X, Z 方向の速度平均および分散, Roll, Pitch, Yaw 角の分散を特徴量とすることによって、印象の円環モデルが得られた。今後は円環モデルの有用性の検

証を行う。また、作成した円環モデルを用いて、身体動作表現を増やすとともに、人とのコミュニケーション実験を行い、文脈の中でどのように変化するかを検証する。こうした研究によって、飛行型ペットロボットの実現を目指す。

参考文献

- [1] Valiallah Monajjemi, Jens Wawerla, Richard Vaughan and Greg Mori, "HRI in the Sky: Creating and Commanding Teams of UAVs with a Vision-mediated Gestural Interface", International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.617-623, 2013
- [2] 杉山敦, 堀浩一, "クアッドローター型 UAV による能動的衝突の制御", 人工知能学会全国大会, 2L3-1, 2014
- [3] 柴田崇徳, "メンタルコミットロボット・パロとロボットセラピーの展開", 日本ロボット学会誌, Vol.24, pp.319-322, 2006
- [4] 山野美咲, 薄井達也, 橋本稔, "情動同調に基づく人間とロボットのインタラクション手法の提案", HAI シンポジウム, 2D-4, 2008
- [5] 佐藤知正, 中田亨, "人と調和するペットロボットのための対人心理作用技術", 人工知能学会誌, Vol.16(3), pp.406-411, 2001
- [6] Jekaterina Novikova, Leon Watts, "A Design Model of Emotional Body Expressions in Non-humanoid Robots", International Conference on Human-Agent Interaction, pp.353-360, 2014
- [7] 中田亨, 森武俊, 佐藤知正, "ロボットの身体動作表現と生成される印象とのラバン特徴量を介した定量的相関分析", 日本ロボット学会誌, Vol.19, pp.1-8, 2001
- [8] 福田玄明, 植田一博, "生物らしさの知覚に伴う脳活動-実際の生物とロボットを用いて-", HAI シンポジウム, I-1A-2, 2011
- [9] J.A.Russell, "A circumplex model of affect", Journal of Personality and Society Psychology, Vol. 39, pp.1161-1178, 1980