

非ユークリッド空間アプローチを用いた
サービスパフォーマンスの評価
Service Performance Evaluation by Non-Euclidean Space Approach

福田 収一
Shuichi Fukuda

1. はじめに

これまでの情報処理は、基数基盤が主体であり、いかに情報(数値データ)を共有するかに焦点がおかれていた。しかし、最近話題のサービスは、日本人がしばしば言う「場」、すなわち共通情報をいかに見出すかが重要となる。絵や音楽を例にすれば、「良い絵だ」、「良い音楽だ」と言い、いろいろな人が同じ絵、音楽を好むが、実はそれぞれがなぜその絵や音楽を好むかの視点は異なっている。しかし、そうした絵、音楽を提供すれば、これらの人々は自分の望みがかなえられたと満足する。従来のコンピューティングでは満足度という定量的な指標を基盤に対応していたが、ちょうどコンピューティングの世界でも、数値ではなく、どの Operation が一番よいのかを求める量子コンピューティングの時代となってきた。量子コンピューティングの世界では、試行錯誤しながらどのようなゴールがよいのかという戦略的、定性的な判断をする。また、荒い例えとなるが、ある意味の MR (Mixed Reality) と解釈することも可能であろう。

また、最近移動通信の世界で 6G が話題となってきている。これまでの通信は Verbal であったが、6G では Nonverbal となり、環境、日本人が言う「場」を共有する通信となる。昔、言語が創造される以前は、動き、変化を認識し、コミュニケーションを行っていたので、Look back into the future だとも言える。

福田は、こうした状況を基盤とする情報を処理する方法として Mahalanobis Distance-Pattern (MDP) を提案している。しかし、本稿では紙面の制限から、サービスのパフォーマンスを評価する場合の得意性について詳述し、開発して MDP については述べない。同方法については例えば文献[1]を参照されたい。また、福田は産業社会の後は、Self-Satisfying Society (SSS) となると考えており、その詳細は文献[2]で述べる。この本では、Service を社会的価値の視点から論じている。

2. 激変する環境

2.1 変化の変化

社会環境が激変しているが、一番変化したのは変化自体である。これまでは変化が緩やかであったので、微分でき、将来を予測することができた。しかし、最近では変化が頻繁に、広範囲で生じるだけでなく、変化が鋭いので、微分できない。したがって、将来を予測することができない (Fig. 1)。

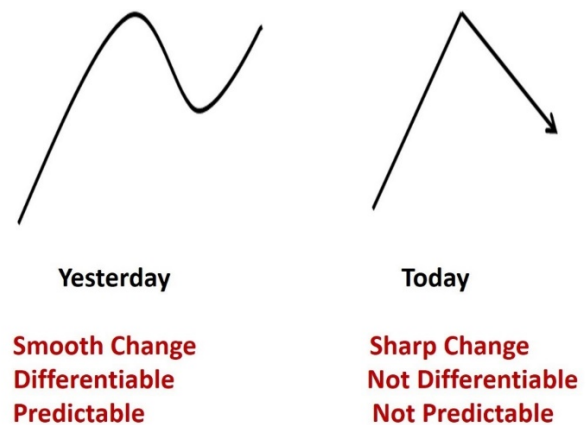


Fig. 1 Changes Yesterday and Today

2.2 境界がある閉じた世界から境界のない開いた世界へ

また、生活圏も小さく、閉じて境界が明確であったので、数式的処理が容易であった。これまでは、将来が予測でき、しかも、数式的処理も容易であったので、Product、Control が基本となってきた。すなわち、Product の機能をいかに向上させ、その機能を保持するかが焦点であった。しかし生活圏が急速に拡大し、いまは境界が消滅した開いた世界となった (Fig. 2)。

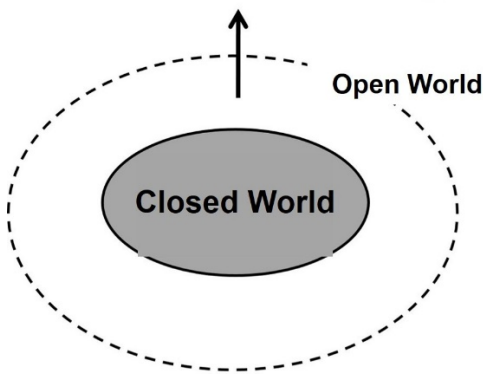


Fig.2 Closed World with Boundary to Open World without Boundary

2.3 Product から Process へ：戦略的意思決定の重要化

環境、状況が激変するようになり、Product の使用状況も予測できなくなった。そして、いかに激変する状況に対応するか、すなわち Process が重要となってきた。言い換えれば、これまでのエンジニアリングは、戦術であり、問題解決が主体であり、いかに効率的な戦術を開発するかが重要であった。しかし、環境が激変するようになり、いかにその変化に対応するかの Process が重要となり、戦略的な意思決定が重要となってきた。すなわち、目標探索、問題設定が重要となってきた。

2.4 基数の世界から序数の世界へ

Control, Product が中心の世界は基数の世界と行うことができる。すなわち、One, Two, Three である。基数の世界であれば、どのような環境、状況でも数値は変わることはない。One は誰がどのように見ても One である。そして Data は数値を意味していた。しかし、環境、状況が激変する今日では戦略的意思決定が重要となり、それは序数の世界である。すなわち、First, Second, Third である。そして Data も情報を意味するようになり、幅広い情報を基礎にしてどのような意思決定が適切か順序づけをすることになる。別の言い方をすると、これまでのエンジニアリングは、「この道一筋一本道」であったが、これからは、幅広く回りを見渡し、新しいアイデアがないかと探索することがより重要となる。

2.5 材料のソフト化

もう一つ重要な変化は、材料のソフト化が急速に進んでいる。これでの Product はまさに Hardware という言葉が表すように、ハードで変形しなかった。したがって、遠くからでも、眼で見るだけで、それをどのように扱えばよいか即理解できた。しかし、今は材料工学が急速に進展し、材料のソフト化が進んでいる。そのため、実際にその Product に触れてみないとどのように対応すべきかが分か

らない。上から摘めばよいと思い、摘まんだところ変形が激しく、舌から支えて対応する必要があることが、実際に触れてみて初めて分かる。

産業用ロボットではこの問題は深刻である。産業用ロボットは、以前は人間が個々に Teaching をしていたが、多様化が進み対応できなくなり、計算機処理で対応するようになった。しかし、Product がハードであれば、その対応は、計算機が得意とする障害物回避のプログラムで対応できる。しかし、Product がソフト化すると、ロボットはまず実際に Product に触れ、その取扱いを判断し、対応しなければならない。すなわち、人間と同じ手順で意思決定をし、その動作を決定する必要がある。皮肉を言えば、材料がハードであった時代には計算機(ロボット)も力学という知識処理をしていればよかったが、材料がソフト化すると、計算機(ロボット)は人間的な判断、動作が必要になる。計算機は数値処理をする Hardware であり、ロボットが人間化する Software となった。もっとも、実は計算機の世界でもソフト化が急速に進みつつある。これまでの数値処理を中心とした計算機処理から、最近では量子コンピュータが急速に重要化してきた。量子コンピュータは、数値ではなく、操作方法(Operation)を問題にする。そして数値が多少ばらついていても問題にしない。これはまさに人間の処理である。

3. Mind-Body-Brain

アメリカでは Mind-Body-Brain が日常でもしばしば話題となる。日本でも心身と言う言葉はよく耳にするが、脳と結び付けてはあまり議論されない。Mind-Body-Brain を図示すると Fig.3 となる。

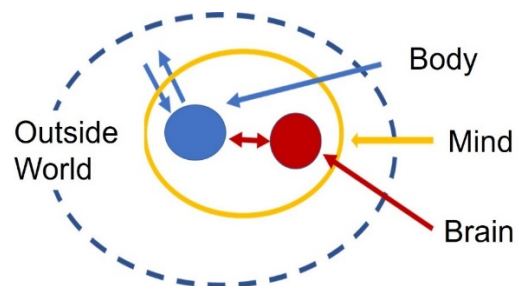


Fig.3 Mind-Body-Brain

図から分かるように外部世界と直接接しているのは身体である。その情報が整理されて脳へ伝達される。それが知識である。さて知識は、日本では Intelligence と結びつけられている。知識のある人がインテリと呼ばれる。しかし、知識は直接外部世界とは接していない。外部世界のソフト化が進めば進むほど、直接外部世界と触れ合うことが重要となる。実は Intelligence はラテン語の Learn から来ており、むしろ赤ん坊のように外部世界と直接触れ合いながらどのように対処すべきか学んでゆく。すなわち、認知能力を挙げてゆくことを指している。実際、軍隊などでの Intelligence とは情報収集機関であり、既存の情報で行動する機関ではない。

さて、このように、Mind-Body-Brain、Intelligence について考えると、蛸は非常に興味ある存在である。蛸は子供を産むとすぐに死んでしまう。そのため、蛸は先代から知識を受け継ぐことはない。蛸は持って生まれた本能だけで生きている。蛸の頭は大きい、人間や脊椎動物のように知識を蓄えているのではない。8本の足をいかに Coordinate して周囲状況と触れ合いながら、環境、状況を理解する(まさに Learn, 自習)。そのため、蛸は「逃亡の名人」と呼ばれ、どのような環境、状況に置かれても脱出する。ネジ付きの容器に入れられても脱出する。すなわち、蛸は知識ではなく、知恵で生きている。蛸は、こうして本能でいきているために、感覚が鋭く、非脊椎動物で鏡を見て自分が写っていると分かるのは蛸や、他に数種しかいない。蛸の頭脳は犬と同程度であるが、犬は鏡を見ても自分が写っているかどうか識別できない[3]。

Fig. 4 は蛸と人間を対比して示している。すなわち、蛸の Intelligence は Body intelligence であり、一方人間は Brain Intelligence で、蛸は知恵の世界、人間は知識の世界で生きている。

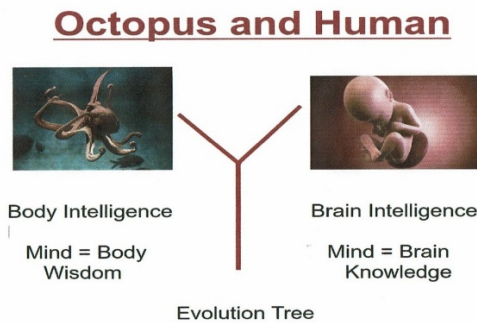


Fig. 4 Octopus and Human

4. 知恵の時代

これまでは知識の時代と言われ知識工学が重視されてきた。しかし、環境、状況が激変する今日では知識でなく、知恵が重要となってきた。蛸の時代になったということもできよう。実際、イタリアのロボット学者は蛸に学べと Robosoft という新しい組織を IEEE RAS に創設した[4]。これは日本のソフトロボティクスとはまったく異なる。日本のソフトロボティクスは、力学という知識の中での柔軟性を求めている。議論が非常に飛んで申し訳ないが、実は蛸の知恵とは、サービスと本質的には一緒である。Product の時代は基数世界であり、機能を定量化でき、それを評価指標としてビジネスができた。顧客満足度という言葉があるが、これは Simon の満足化原理とは反対の議論であり、顧客の満足度を定量化して対応しようとしている。しかし、知識から知恵の時代となるという意味は、実は Communication の重要性が増すという意味である。蛸は外部世界と Communication をしながら対応策を考えているのである。

生物は英語で Creature というが、何を Create するか言えば「動き」である。生物にとって動きは生存のために不可欠なのである。

5. 動き

ここで人間の「動き」について考える。人間の動きは外部の動き、Motion と内部の動き Motor に分類されている。Motion については Nikolai Bernstein が明らかにしている[5]。Motion の軌跡は最初は大きくぼらつく。しかし、対象物に近付くと筋肉が硬直し、骨格系と一体化して動くようになり、軌跡はぶれない。通常の機械、ロボットの動作はこの段階を対象にしているために、Control が可能であり、基数世界である。しかし、本当に重要なのは前段階の軌跡が大きくぶれる段階であり、そのようなぶれが生じる理由は、周囲の環境、状況の変化に対応して、全身の筋肉などの部品を動員して、それらを Coordinate して、身体のバランスを取り、それらの環境、状況の変化に対応していることである。とくに環境、状況が激変する今日、Coordination の重要性が急速に増大している (Fig. 5)。

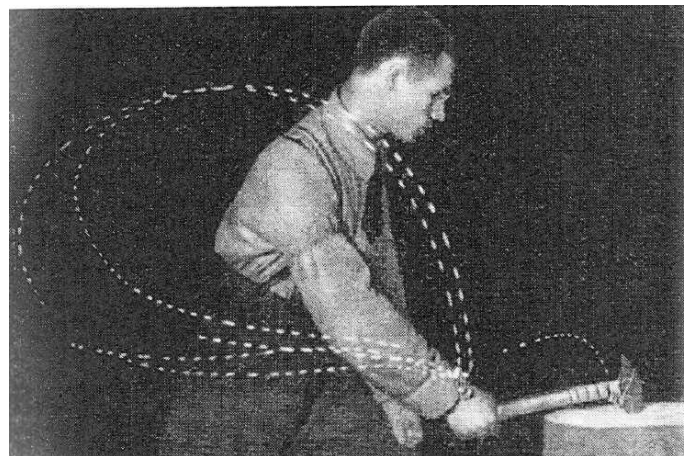


Fig. 5 Motion trajectory

6. Communication

Motion の前半では、人間は外部動作である Motion だけでなく、内部動作 Motor も総動員して環境、状況に対応する。すなわち、別の言い方をすれば、人間はすべてを動員して、状況を認識し、理解し、意思決定をして行動する (Fig. 6)。

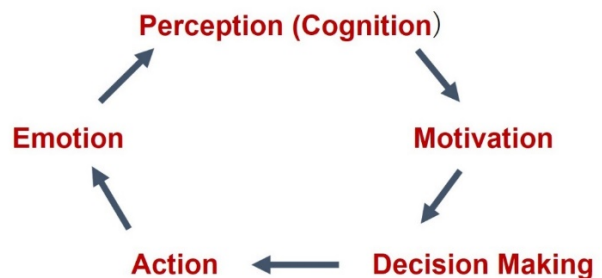


Fig. 6 PMDAE Cycle

PMDAE Cycle は、よく知られている PDSA (Plan → Do → Study → Act) Cycle を詳しくした図である。重要な点は、Emotion と Motivation は同じラテン語 *Movere* を語源として共有していることである。すなわち、Emotion とは *Move out* という意味であり、自分から外部世界に行動を起こし、自分の望みを叶えることが Emotion である。

状況が変化せず、Product だけに興味があつた時代には言語で対応できた。すなわし、Verbal Communication の時代であり、相手の意図を察する必要はなかった。しかし、状況が多様化し、激変するようになると相手の出方を事前に察知する必要がある。すなわち、真の Communication, Nonverbal Communication が必要となる。ある行動を起こすためにはどのような行動がよいかと順序をつけて判断する必要がある。そして、その情報はきわめて多種多様であり、従来のユークリッド空間を基礎とした対応では処理できない。ユークリッド空間アプローチは、データセットが相互に正規直交することを要求しており、次元が増大すると次元の呪いで、数学的な処理ができない。さらに、距離も間隔尺度であり、Nonverbal Communication, 知恵の世界に必要な序数尺度ではない。すなわち、非ユークリッド空間アプローチがこれからは必要となり、その重要性は急速に増大する。

7. Service

Service は、ラテン語の *Servus*、奴隷 (Slave) が語源である。そのため、こう「ただただ言われたことをそのとおりにする」ことと誤解している人も少なくない。しかし、現在 Service は、これまでの Service とはまったく異なる。真の Communication を実現することである。これまでは数値データを基盤とする基数世界であったが、多種多様化、個性化が急激に進む中で、相手 (顧客) が何を望んでいるのか察知することである。すなわち、知識ではなく、知恵の時代であり、察知することがきわめて重要となってきた。この対象は人間だけでは限らない。材料のソフト化が急激に進み、材料の動きを予想して対応し、また必要に応じて試行錯誤をしながら適切な対応をしなければならなくなってきた。すなわち、これからは、あらゆるもの、有形、無形を問わず状況を察知して対応しなければならなくなり、その場合、考えられる案の中でどれから実行するかという順序を考える序数の時代となってきた。それが Service である。

昔の Service は奉仕であり、一方向であったが、これからの Service は双方向である。生物、無生物、有形、無形を問わず、状況とともに察知し、それに応じて、いわゆる IoT が主張する Things Team を実現してゆくことが Service である [6]。

8. Service Performance

さて、それでは非ユークリッド空間アプローチとして、従来の基数アプローチに代わる序数アプローチがあるであろうか？序数尺度としては P. C. Mahalanobis が提唱したマハラノビスの距離 (MD) がある。これは距離と言っても間隔尺度の距離ではなく、序数尺度である。ただし、彼は実験計画法が専門で、外れ値を除去するために MD を提案した [7]。

しかし、MD だけに注目すれば、これはある点 P が分布からどの程度離れているかを示しているだけである。したがって、MD を順序尺度として活用できる (Fig. 7)。

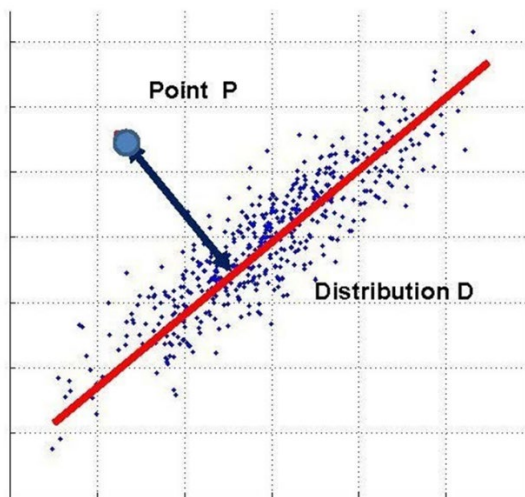


Fig. 7 Mahalanobis Distance

こうして個々の Service については MD を導入することにより Performance を評価できるが、Service においてはさまざまな情報の中で、どのようにそれらを評価し、それらの共通の土俵 (Platform) の上で対応を順序づける必要がある。すなわち、基数時代は戦術が重要であったが、現代は戦略の時代となり、広い様々な条件の中で対応の順序付けを行う必要がある。

9. 情報共通基盤

すなわち、情報を処理するための共通基盤が必要となる。ただし、同じ言葉でも、基数世界を処理する情報共通基盤と異なり、個々に異なる情報処理条件のもとで共通となる基盤を構築する必要がある。よく日本人が言う「場」の共有である。

なお、この「場」の共有は、Communication における意図の察知とは異なる。Communication における意図の察知では、お互いの認識の共通であるが、「場」の共有では、お互い考えていることが異なってもかまわない。例えば「よい絵だ」と意見が一致しても、実は何をよいと言っているのかそれぞれに異なる。ある人は「配色がよい」と思っているし、他の人は構図がよいと思っている。しかし、「何がよいのか？」と尋ねて、その違いを詮索しなければ、「よい絵」としてお互いがその絵を楽しむことができる。

Service における情報共通基盤は、まさに「場」であり、「何を」共通にできるかであり、「なぜ」を共通化することではない。顧客とビジネスマンがそれぞれの視点から「よい」と思えば、それは Service Performance の情報共通基盤である。顧客にとっては、自分の望みがかなえられるという点で満足であり、ビジネスマンは自分のビジネスが適切な利潤を挙げられたという点で満足であり、その満足の意味は異なるが、いずれも満足な取引であったという点では共有している。

10. Pattern

さて、MD を利用することで序数処理、順序尺度での順位付けはできるようになったが、Service では全体的な認識が重要である。例えば、顧客がうれしそうな顔をしているようであれば、Service に満足している党のような感情、心理を推測する必要がある。福田のグループは顔表情からの感情抽出の研究を 2000 年頃に行っていた。いろいろな画像処理の方法を試したが、時間が非常にかかり、また残念ながら満足のゆく結果も得られなかった。こうした検討を行っている最中、福田がマンガを見ると登場人物の感情が即分かることに気付いた。当時のマンガは白黒の 2 値画像であったが、即マンガを基本に感情モデルを作り、そのモデルとのパターン照合により、きわめて短時間に顔表情からの感情抽出ができるようになった[8]、(Fig. 8)。

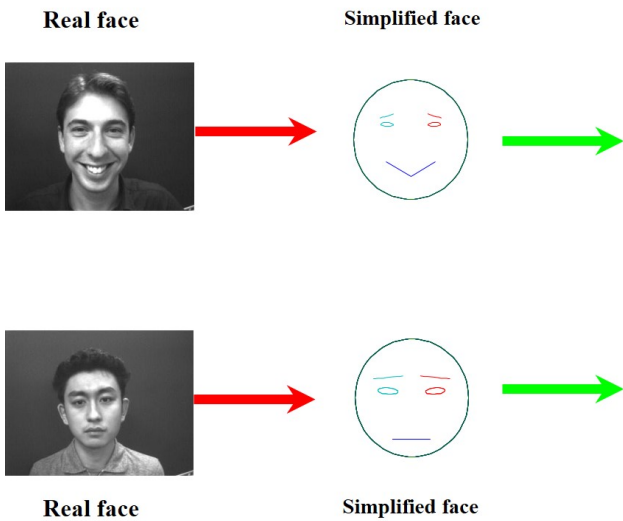


Fig. 8 Cartoon Face Model

イメージはピクセルパターンとしてパターン化できる。そのパターンとマンガの典型的なパターンとを照合し、MD がある限界値以下であれば、同じパターンであると判別できる。さらにこれは静的な照合であるが、Neural Network を RNN (Recurrent Neural Network) とすることにより、動的な変化を基本にした感情抽出が可能となる (Fig. 9)。

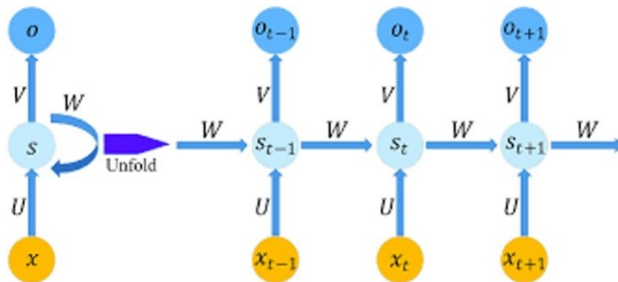


Fig. 9 Recurrent Neural Network

しかし、RNN はブラックボックスであるので、Reservoir Computing を導入すると出力部で調整が可能となる。さらに Reservoir Computing は、マイクロテクノロジーを利用できるので、センサー、アクチュエーターを極小として、人間の身体の一部とすることが可能である。それにより、人間の認知能力、動作能力が拡大し、健常者、非健常者の区別も消滅でき、また老齢化が進んでいるが、活動が活発になり、人生を楽しむことができ、生きがいを与えることができる (Fig. 10)

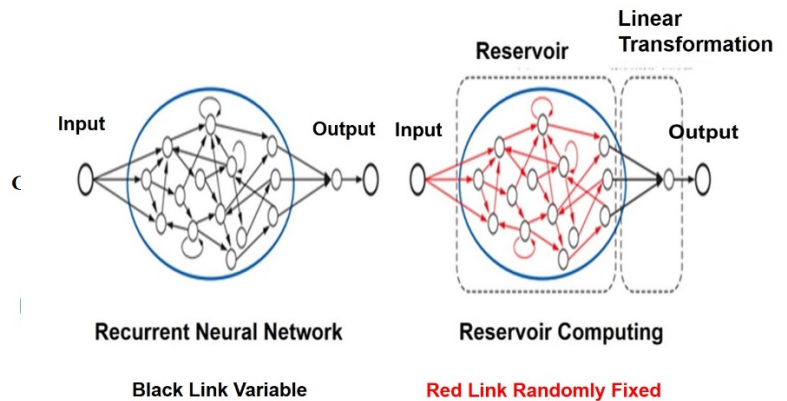


Fig. 10 Reservoir Computing

これは、Paul Eckman と Wallace V. Friesen が 40 年ほど前に提案した FACS (Facial Action Coding System[9] の現代版である。しかも、顔の動きだけでなく、いまやそれ以外に音なども含めて感情を抽出できる。すなわち、Service の効果を認識することができる。

また、最近では血が感情の表現として注目されている。「血沸き肉躍る」という言葉があるように、血は感情と深く結びついている。しかし、脳についての研究は進んでいるが、血については医学的な視点からの研究は別にして感情との関連の研究はあまり見当たらない。しかし、脳死となっても数時間は血は全身を回り、諸器官を駆動させ続けているし、また脳に信号が届く前の動きとも深く結びついている。しかし、血はアナログであり、従来のユークリッド空間アプローチでは処理できない。

11. おわりに

Service は人間の心理と深く関係する。従来の人間工学、心理工学は産業革命以来の産業社会を基本に心理を考えてきた。しかし、現在の Service の時代では、「人間」の心理が第一に優先される。楽しく人生を送れる Self-Satisfying Society (SSS) の視点から考えることが重要である。

本講演では、この視点から Service を考え、その Performance を評価する方法について述べた。具体的には、この評価とは戦略的視点であり、従来の戦術的な、定量化した満足度という基数視点、すなわちユークリッド空間アプローチではなく、戦略の適否に従って、その選択の順序を決める序数視点、すなわち新たに開発した非ユークリッド

ドアプローチ, Mahalanobis Distance-Pattern Approach (MDP) について述べた。この方法は序数尺度であるマハラノビスの距離 (MD) を使い、動きをパターンの変化として追うことにより感情を抽出し、満足状態を定性的に明らかにする。したがって、多種多様な応用が可能であり、さらに Reservoir Computing を導入することにより Sensor, Actuator を人間の身体化することができる。

参考文献

- [1] Shuichi Fukuda, “From Control to Coordination: Mahalanobis Distance-Pattern (MDP) Approach”, *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*, Vol.1250, pp. 286-302, Springer (2020).
- [2] Shuichi Fukuda (ed), “Emotional Engineering”, Vol.9, Springer (2021).
- [3] Peter Godfrey-Smith, “Other Minds: The Octopus, The Sea, and the Deep Origins of Consciousness”, William Collins (2016).
- [4] <https://softroboticsconference.org/>
- [5] Nikolai A. Bernstein, “The Co-ordination and Regulation of Movements”, Pergamon Press (1967).
- [6] Kevin Ashton, “That ‘Internet of Things’ Thing”, *RFID Journal*, 22, June (2009).
- [7] Prasanta C. Mahalanobis, “On the Generalized Distance in Statics”, *Proceedings of the National Institute of Science of India*, Vol.2, No.1, pp.49055 (1936).
- [8] Vlaho Kostov, Shuichi Fukuda, Martin Johansson, “Method for Simple Extraction of Paralinguistic Features in Human Face”, *Image & Visual Computing, The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan*, Vol.30, No.2, pp.111-125 (2001).
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Facial_Action_Coding_System