

ウェアラブル技術による幸福感の計測

—知識労働やサービス業務の生産性を飛躍させるテクノロジー—

矢野 和男
Yano Kazuo

秋富 知明
Akitomi Tomoaki

荒 宏視
Ara Koji

渡邊 純一郎
Watanabe Junichiro

辻 聡美
Tsuji Satomi

佐藤 信夫
Sato Nobuo

早川 幹
Hayakawa Miki

森脇 紀彦
Moriwaki Norihiko

20世紀の経済成長を牽(けん)引した工業生産に代わり、21世紀の成長を牽引するのは知識労働やサービス業務の生産性である。このために開発したのが、ウェアラブル技術を用いた人々の幸福感(ハピネス)の計測技術である。われわれは身体運動の基本パターン「1/Tの法則」に人の幸福感を示すシグナルが隠されていることを発見し

た。この結果から「身体運動=幸福感=生産性」の三位一体の緊密な関係が明らかになった。本技術と人工知能によるKPI自動生成技術を合わせることで、個の自律性とコミットメントを引き出しつつ、集団の協創力を引き出すことができる。今後の企業の新たな会計・生産・人事システムの道を開くものと期待される。

1. はじめに

今後の経済成長には、知識労働やサービス業務の生産性向上が鍵であるといわれて久しい。しかし、その方法や成功事例は見えてこない。製造業で成功を収めたインダストリアルエンジニアリングやトヨタ生産方式をナレッジ・サービス業務に適用しようという試みもある。だが、業務プロセスや生産物が明らかな製造現場とサービスの現場とは本質的な違いがあり、単純な転用では成果を上げられない。管理会計(予算や原価管理)や人事制度(目標管理や評価)も本来生産性を向上させるべきものである。しかし、いずれも大きな効果を上げていない。

知識労働やサービス業務の生産性を抜本的に向上させることはできないだろうか。実は、これを今後可能にするのが「ウェアラブル技術」である。ウェアラブル技術によって、定性的にしか理解できなかった人間や社会の活動を定量化して制御する道が開ける。これが企業における会計・生産・人事システムを抜本から変えるものになる。

2. ハピネスの定量化

われわれが着目したのは人の「幸せ」あるいは「ハピネス」である。一見、これは哲学や宗教の問題と思うかもしれない。しかし最近では、日本をはじめ、英国、フランス、オーストラリア、ブータンなどが、GDP(Gross Domestic Product)に代わる国家の指標として幸福感を組み込むことを検討し

ている。さらに文部科学省では「ハピネス社会の実現」をめざす研究プログラムを推進中である。

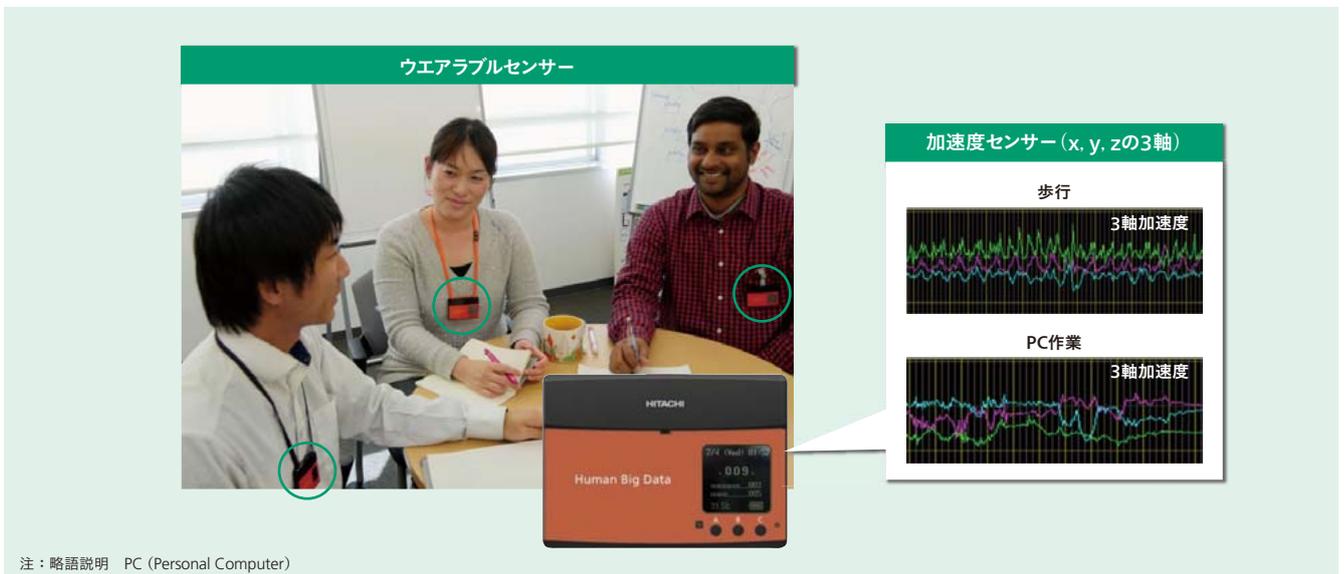
実は、人の幸福感はパフォーマンスに大きく影響することが報告されている。幸福な人は、そうでない人に比べて営業の生産性は37%、クリエイティビティは300%も高い¹⁾。また年収が高く、昇進が早く、結婚の成功率が高く、友人に恵まれ、健康で寿命までが長い²⁾。さらには、幸福な人の多い会社の一株あたりの利益は高いことも報告されている。

重要なのは、成功した人や健康な人が幸せになるのではなく、幸せな人は、成功したり健康になったりする確率が高まるということである。成功や健康は、幸せに10%しか寄与しないことも確かめられている²⁾。

また、職場におけるメンタルヘルスの問題は、従業員の生産性にも大きな影響を与えている。ここ15年でうつ病をはじめとする精神疾患に罹(り)病する人の数は2倍以上になっており、病気休職や周りへの影響は生産性に大きく影響している。

しかし、ここで問題になるのは、ハピネスを定量化できないことである。その測定にはアンケートが用いられてきたが、アンケートは人によるばらつきが大きく、主観的信憑(びよう)性や再現性に乏しいという問題がある。

ハピネスをハードな自然科学における計測量のように厳密に定義し、計測し、定量化することはできないだろうか。



注：略語説明 PC (Personal Computer)

図1 | ウェアラブルセンサーによって計測した身体運動のパターンから集団の幸福感との相関を発見

装着するだけで、集団の幸福感をリアルタイムに計測することが可能である。身体運動の計測には三次元の加速度データを用いる。

2.1 身体運動とハピネスとの隠れた関係

われわれは、9年以上にわたりウェアラブル技術を使って100万日を超える人間行動データを計測し、そのデータを研究してきた^{3), 4), 5)}。ミリ秒単位のウェアラブルセンサーのデータによって、われわれは幸福感と強く相関する身体運動の特徴パターンを発見した。センサーは胸に付けるカードの形状をしており、1秒間に50回(20ミリ秒に1回)という詳細な身体の三次元の動きと向きを記録する^{6), 7), 8)}(図1参照)。

この大量データから、われわれは身体運動に関する基本法則を見いだした。これを「1/Tの法則」と呼ぶ⁹⁾。身体運動を、単位時間ごとに「静止」と「非静止」に分け、特

に動きのある「非静止」とその持続(これを「運動持続」と呼ぶ。)に着目する。「非静止」には、歩行に加え、うなずきやタイピングなどの微かな動きも含まれる。

運動持続の長さTは状況によって大きくばらつく。集団におけるTの分布を見ると、いわゆる「釣り鐘」型の正規分布ではなく、「ロングテール」型の分布を示す。典型的には、3割の運動持続が、身体運動の総時間の7割を占めており、一部の時間や人に運動は偏る。定量的には静止へ転じる確率が、Tに反比例することに対応するため「1/Tの法則」と呼び、これに従う身体運動のゆらぎを「1/Tゆらぎ」と呼ぶ^{10), 11), 12)}(図2参照)。これはニュートン力学の、力を受けないときに等速直線運動を続けるという第一

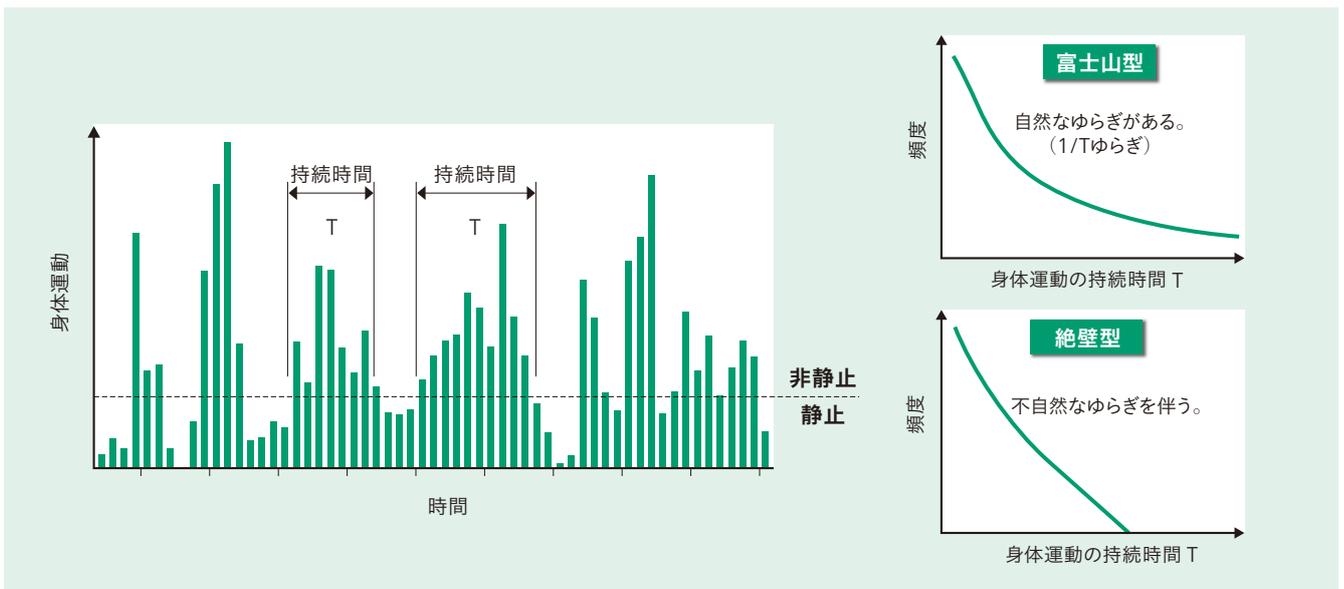


図2 | 人の幸福感に伴う身体運動の特徴パターンを発見

身体運動を静止と非静止に分け、非静止の持続時間をカウントして頻度分布を作ると、幸福感の高い集団には1/Tの法則からのずれが少ない(富士山型)のに対し、幸福感の低い集団では1/Tの法則からのずれが大きい(絶壁型)。

法則の人間版に当たるものだと考えている。

実際には、集団ごとのゆらぎのデータを見ると、この1/Tの法則に完全に従うことはなく、比較的きれいに従っている集団もあれば、ずれの大きい集団もある。この1/Tの法則にうまくフィッティングしている度合いを1/Tゆらぎとして数値指標にした。1/Tゆらぎが大きいと、持続時間Tの頻度分布が富士山のように長い裾を引く。これに対し、1/Tゆらぎが小さいと、Tの頻度分布は絶壁のように裾がなくなる。これは力があるときの力学の第二法則に当たるものとする。

この1/Tゆらぎが、人のハピネスと強く相関することを見いだした¹³⁾。われわれは、7社10組織468人の従業員にセンサーを装着してもらい、延べ約5,000人日、約50億点の加速度データを取得し、その結果と質問紙によるハピネス値との関係を分析した。質問紙はCES-D (Center for Epidemiologic Studies Depression Scale) を用いた¹⁴⁾。CES-Dでは、「過去一週間に幸せなことがありましたか」という質問に0から3の4段階の数字で答えてもらう。同様に、集中、楽しむ、希望、安眠、会話、食欲、憂うつ、心配、孤独、悲しみなどに関する20問の数値を合計した(最も幸せ=3×20=60点、最も幸せでない=0点)もので、幸せの増減に関わる項目をバランスよく含んでいる。CES-Dは抑うつ傾向の自己評価のために開発されたものであるが、ハピネスの物差しを構築するには、少なくとも抑うつ傾向による幸福感の低下を説明することが必要条件と検討に用いた。

その結果、上述の1/Tゆらぎの指標が、468人から成るハピネス回答の組織ごとの平均値と精度よく一致することが確認された(図3参照)。偶然にこのような結果が生じる確率は100万分の1以下であり、そうではないと断言してよい。つまり、このウェアラブルセンサーを胸に装着す

ることで、その集団のハピネスを日々継続的に、かつ定量的に計測できるのだ。

なお、ハピネスは活動量とは全く異なるものだ。歩き回っている営業職の活動量は、椅子に座る業務が中心の事務職より一般に高くなる。しかし、営業職が一律に事務職よりハピネスが高いことはない。業務や役職が異なれば身体の活動量は異なるが、このハピネスは、そのような表に見える業務や役職に依存しない、隠れた身体運動の特徴を捉えた指標になっている。

1/Tゆらぎの特徴は、集団の身体運動に多様な成分があることである。したがって、ハピネスの高い集団は、身体の動きに多様性がある集団である。一方、ハピネスの低い集団は、身体の動きに多様性が少ない集団である。これは身体運動という窓を通して、集団の活動に多様性があるかを定量化しているものといえよう。

2.2 コールセンターの生産性にハピネスが影響

ハピネスは主観的なもので、単に自己満足を表しているのではない。居心地のよい状態にとどまり、高い目標に挑戦しなくなるのではない。むしろ危機感や不安を持つことで人は力を発揮するのではない。このように思われる人もいるだろう。だが、そうではないことがデータから読み取れる。

われわれは、コールセンターの場を使って実験を行った¹⁵⁾。具体的には、2拠点で勤務する215人の従業員にウェアラブルセンサーを29日間(延べ6,235人日、約60億点の加速度データを計測)装着してもらい、身体運動の1/Tゆらぎと業務の生産性、すなわち受注率との関係を調べた。このコールセンターでは、あるサービスを電話で潜在顧客に売り込むアウトバウンド型の営業業務を行っていた。

1日の受注率は、拠点や日が異なると最大3倍も異なっ

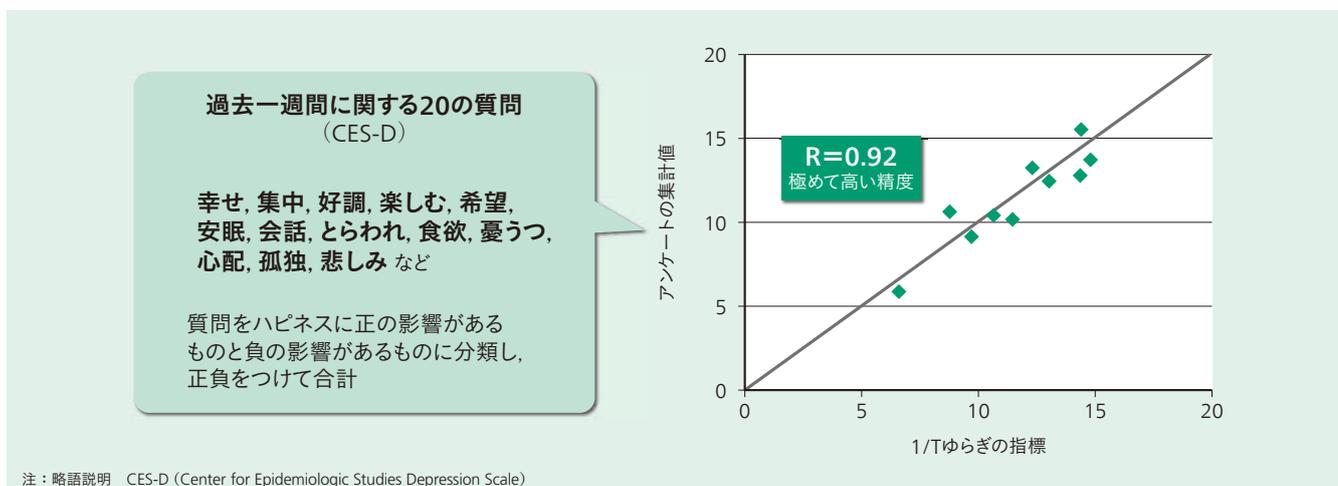


図3 | 人の身体運動とアンケートとの関係

7社10組織468人の従業員の業務中の延べ約5,000人日、約50億点の計測データとアンケート結果を比較した。

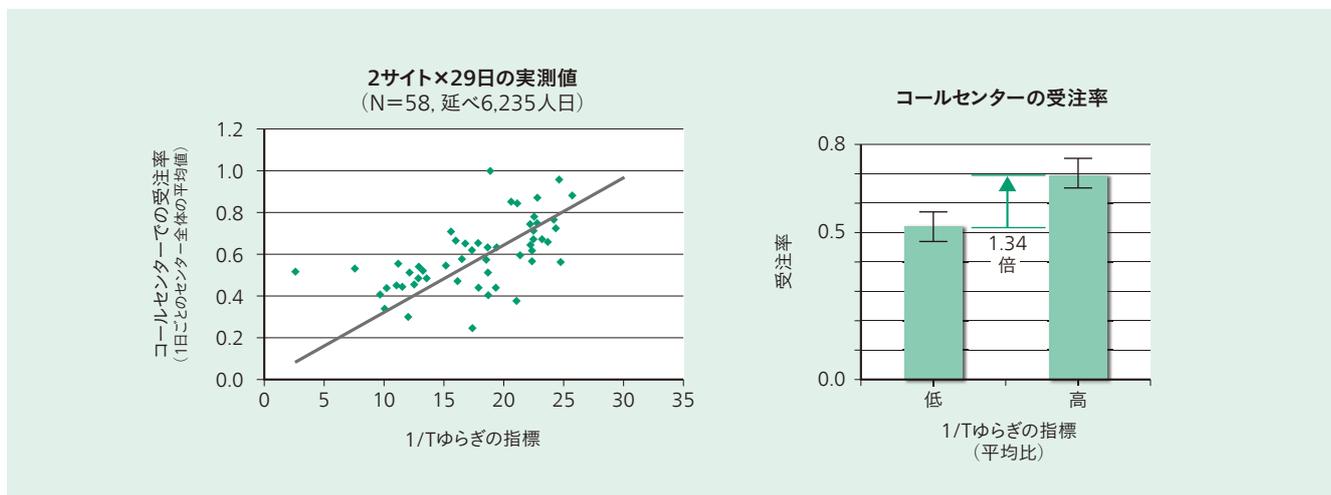


図4 コールセンターにおける身体運動の1/Tゆらぎ(=ハピネス)は、業務の生産性に直結することを実証

1/Tゆらぎが平均より強い日は、そうでない日に比べ、受注率が34%も高いことが実証された。

ている。この業績変動の主な原因は、従業員の身体運動の1/Tゆらぎ(すなわちハピネス)の変動だったのである(図4参照)。もともと、コールセンターにはパートタイムで勤務している人が多く、出勤する従業員の組み合わせは日々異なる。センサーによる従業員全体のハピネスは日ごとに、さらに拠点によって変動している。そうした従業員の1/Tゆらぎが平均より高い場合(日・拠点)の受注率は、低めの場合に比べて34%も高いのだ。

このように能力を高度に発揮し、業績を残す身体運動の1/Tゆらぎ(ハピネス)とは、単に居心地のよい安楽な状態でないことは明らかである。実は、安楽な状態の幸福感は高くないことが確かめられている。これはミハイ・チクセントミハイによれば「退屈」に近づくため¹⁰⁾である。幸福感や楽しさを得るには、背伸びしてこそ達成可能な挑戦的タスクが必要なのだ。ただし、挑戦レベルが高すぎると、不安が先立ち、能力も発揮されなくなる。生産性も低くなる。この「退屈」と「不安」という谷の間の「尾根」がハピネスであり、生産性の高い状態なのである。1/Tゆらぎの計測は、この尾根にとどまるのを強力に支援する。

さらに、このコールセンターの場合、意外なことが従業員のハピネスを決めていることが分かった。それは、休憩時間中における従業員の身体運動の活発度である。休憩所は座って休むところである。センサーに記録された身体運動とは、主に他の従業員との雑談を示す。従業員全体に休憩中に雑談が弾んでいる日は、センター全体のハピネスが高く、受注率も高かったのである。

ここで重要な点は、身体運動(雑談)が活発だった人の受注率が高かったのではなく、集団全体の身体運動が活発な日に、集団全体のハピネスが高くなり、集団全体の受注率が高かった点である。すなわち、身体運動もハピネスも受注業績も、実は集団現象だったのである。このように個

人プレーと見える業務でも、従業員は互いに周りつながりあって能力を発揮していたのである。

さらに、休憩時間に雑談を弾ませる方法についても、データは雄弁に語っていた。それは、業務中のスーパーバイザーの声かけであった。スーパーバイザーと業務中に適切なコミュニケーションを取ることが、休憩中に雑談を弾ませ、それが従業員のハピネスを高め、受注率を高めていたのである。この結果に基づき、スーパーバイザーの声かけを支援するクラウドアプリケーションを提供したところ、コールセンターの受注率を継続的に20%以上向上させることができた。

3. ビジネスのサイクルを短くする

身体運動=ハピネス=労働生産性という3者の強い関係が、コールセンター特有の現象であると考えられる理由はない。むしろクリエイティブな業務におけるハピネスの業績効果は、より大きいことが報告されている¹⁾。誌面の関係で詳細は割愛するが、われわれは、製品開発プロジェクトの開始2か月におけるメンバーの1/Tゆらぎが、5年後の売上の先行指標となっていることを確認している。

知識労働では、財務上の業績結果が出るのに時間がかかる場合が多い。例えば製品の設計業務では、設計開発した製品の成否が出るのは1年後というのは珍しくない。法人営業では、年単位の予算サイクルに沿って受注に至る場合が多い。研究開発ではこの期間がさらに長くなる。

時間が経てば、外部状況も関係者も変化するため、結局、どのアクションが功を奏しているのかあいまいになってしまう。これが既存の管理会計や人事のシステムが現実に機能しない理由である。財務上の結果だけでは、知識労働者にうまくフィードバックできないのである。

一方、1/Tゆらぎという「身体運動=ハピネス=労働生

産性」の三位一体の指標は、極めて短いサイクルでのPDCA (Plan, Do, Check, Act) サイクルを可能にする。これを企業システムに組み込むことができる。

3.1 ハピネスを組み込んだ企業システム

ビジネスは多数の組織や人から成り立つ。しかし、各人の責任範囲内での局所最適化に陥りやすい。一方、全ての情報と権限を中央集権してもうまくいかない。現場のデータ化できない情報や経験が活用できず、現場の工夫も進まないからである。これが21世紀の組織が直面する最大の課題である。

ハピネスの計測により、この課題を解決するシステムが可能となる。具体的には、ビジネスを、人というサブシステムが多数集まったSystem of Systemsとして捉える。全体の業績を「アウトカム」、各人の業績評価値を「KPI (Key Performance Indicator)」, KPIの計算式を「評価関数」と呼ぶ。変化の中で、人は各自のKPIに沿って自律的に判断し行動しつつも、各人のKPIに全体への影響を組み込むことで全体最適に近づけることができる。

どうやれば個人のKPIに全体最適への要因を組み込めるだろうか。これには野球の「犠打(送りバントなど)」がモデルになる。犠打は、自分の出塁にはならないが、チームに貢献する。この犠打を個人の打席評価に組み込むことで全体のパフォーマンスを向上させることができる。野球では犠打は打率の分母から取り除かれ、それ自体評価の対象である。ここで自ら出塁する効果を「直接項」、犠打を「共生項」と呼ぶ。

実際には事業における関係者間の影響の連鎖は複雑であり、野球に比べると共生項の特定は難しい。日立の人工知能「H」(Hitachi Online Learning Machine for Elastic Societyの略)は、共生項を含めた各人のKPIとその計算式である「評価関数」をビッグデータから自動生成してその根拠を明示する。特にここで、業績の先行指標として、関係者全体の1/Tゆらぎ指標を用いることで、アクションと結果のサイクルが短くなり、問題を大幅に単純化できる。「H」の入力は、アウトカム定義と各人の行動データなどの業務データである。これを基に、「H」はアウトカムに影響を与える仮説を多数(変数候補を100個~100万個)自動生成し、それから数個の重要要因に絞り込み、評価関数を自動生成する⁹⁾。

「H」によって生成された評価関数(共生項を含む)を使えば、各人がKPIに基づいて自律的に判断しつつ、共生項の効果により全体最適、すなわち関係者全体のハピネスと生産性を最大化する企業の会計・生産・人事システムができる。「H」はこの評価関数を毎日データから自動更新する

表1 | ハピネス計測の活用分野

組織の活性化や生産性向上に関係する幅広い業務に応用できる。

業務	目的	想定される効果
研究開発	<ul style="list-style-type: none"> エビデンスベース・プロジェクト管理 目標および体制の早期判断・対策 	<ul style="list-style-type: none"> イノベーション加速 投資回収向上
組織経営 (M&Aほか)	<ul style="list-style-type: none"> 組織の統廃合のマネジメント リーダーのパフォーマンス評価・対策 	<ul style="list-style-type: none"> 統廃合の成功 従業員満足度の向上
人事HR (昇格, 評価)	<ul style="list-style-type: none"> 組織活性化 マネージャー人材の評価・育成 	<ul style="list-style-type: none"> 従業員満足度の向上, 離職率低減 マネジメント力の向上
設計・製造	<ul style="list-style-type: none"> エビデンスベース設計・製造管理 製品品質(不良・事故)の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 設計・製造の生産性向上, 遅延防止 メガリコール防止, 品質向上
営業・販売	<ul style="list-style-type: none"> エビデンスベース営業管理 営業・販売員の育成加速 	<ul style="list-style-type: none"> 販売金額向上 顧客エンゲージメント向上
サービス	<ul style="list-style-type: none"> 従業員の活性化・生産性向上 拠点の早期立ち上げ管理 	<ul style="list-style-type: none"> 生産性の向上, 人材調達力の向上 拠点の早期立ち上げ

注: 略語説明 HR (Human Resources), M&A (Mergers and Acquisitions)

ことで、環境変動下で、KPIを自律的に状況に適応させ、常に全体最適に近づける。

これは幅広い企業活動に革新を起こす可能性がある(表1参照)。

3.2 ハピネスの制御

ハピネス最大化のために制御できる自由度は広い。例えば、ビルの空調の制御が挙げられる。従来的一定温度に保つ空調制御に代わり、ハピネス計測と人工知能を使えば、ビルの居住者全体のハピネスを最大化する空調が可能になる。

コールセンターでは、従業員間のコミュニケーションを制御することで、全体のハピネスと生産性を高めることができた。このときに、オペレータの共生項としては、休憩中の雑談が考慮され、スーパーバイザーの共生項としては、業務中の的確な声かけが考慮された。この共生項を組み込んだ業務システムにより、オペレータは自分の受注率という直接項に加え、共生項を含むKPIを高めることで、センター全体の生産性を大幅に向上することができた。

さらには、例えば地域のヘルスケアシステムで医療費を抑えつつ、健康寿命を向上させることを考えよう。ここで、政策変更と地域の健康寿命の変化との関係をデータから分析しようとしても、サイクル時間が長すぎる。アウトカムとしてこの1/Tゆらぎを用いることで、サイクルを劇的に短くできる。PDCAが日々回せるようになる。

4. おわりに

18世紀の哲学者であるジェレミ・ベンサムは「最大多数の最大幸福」、すなわちハピネスの量化こそが「善悪の物差し」をもたらすと説いた。しかし、その後のベンサ

ムに対する批判は、つまるところ、幸福は測れない、というところに帰着する。本技術はこの状況を一変させると期待される。

従来は、状況に合わせて柔軟に是非を判断すべきことに関しても、組織では一律のルールを押し付けることが多かった。それは一律のルールやプロセスを細かく設定して守らせるとというのが、集団を経営する代表手段になっているからだ。この源流は20世紀初頭にフレデリック・W・テイラーが提唱した科学的管理法にある。だが、ピーター・F・ドラッカーが指摘したように、科学的管理法は柔軟さに欠け、変化に弱い¹⁷⁾。この限界を超え、多様な状況への柔軟性を持たせることこそ、21世紀のマネジメントのめざすべき方向である。

20世紀は、人間がシステムやルールに合わせる時代だった。今後は、ハピネスの定量化と人工知能によって、各人の幸福感を高めるべく、むしろシステムやルールが人に合わせる時代へと変わる。幸福感の計測という集合的な無意識を捉えるブレイクスルーは、人類のハピネスを可視化し、個人の人生はもちろん、企業、地域や国、さらに人類全体の合意形成や経営に革命を起こすのではないか。

本稿で報告したデータは株式会社日立ハイテクノロジーのヒューマンビッグデータ／クラウドサービスで取得され、日立グループの倫理規約管理の下で、倫理条項（個人情報保護、情報セキュリティなど）を含む法人間のサービス契約で管理されている。

参考文献

- 1) S. Achor: Positive Intelligence, Harvard Business Review (2012.1)
- 2) S. Lyubomirsky: The How of Happiness: A New Approach to Getting the Life You Want, Penguin Press (2008)
- 3) K. Yano, et al.: Sensing happiness: Can technology make you happy? , IEEE Spectrum, pp. 26-31 (2012.12)
- 4) K. Yano: The Science of Human Interaction and Teaching, J. of Mind, Brain and Education, Volume 7, Issue 1, pp. 19-29 (2013.3)
- 5) K. Yano, et al.: Life Thermoscope: Integrated Microelectronics for Visualizing Hidden Life Rhythm, International Solid-State Circuits Conference, pp. 136-137 (2008)
- 6) H. J. Wilson: Wearables in the workplace, Harvard Business Review, pp. 23-25 (2013.9)
- 7) Y. Wakisaka, et al.: Beam-scan sensor node: Reliable sensing of human interactions in organization, 6th Int. Conf. Networked Sensing Systems, pp. 58-61 (2009)
- 8) K. Ara, et al.: Sensible Organizations: Changing our Business and Work Styles through Sensor Data, J. of Information Processing, The Information Processing Society of Japan, Vol. 16 (2008.4)
- 9) 矢野：データの見える手：ウェアラブルセンサが明かす人間・組織・社会の法則, 草思社 (2014)
- 10) T. Nakamura, et al.: Universal Scaling Law in Human Behavioral Organization, Phys. Rev. Lett., 99, 138103 (2007)
- 11) 野澤, 外：共創の場の評価, 計測と制御, vol. 51, no. 11, p. 1064~1067 (2012)
- 12) A. L. Barabási: The origin of bursts and heavy tails in humans dynamics, Nature 435, pp. 207-211 (2005), A. L. Barabási: Bursts, Dutton (2010)
- 13) 矢野：ウェアラブル・センサーでハピネスは定量化できる：「データの見える手」がオフィスの生産性を高める, ハーバード・ビジネス・レビュー(日本語版), p. 50~61 (2015.3)

- 14) L. Radloff: The CES-D scale: a self-report depression scale for research in the general population, Applied Psychological Measurement, vol. 1, pp. 385-401 (1977)
- 15) J. Watanabe, et al.: Resting Time Activeness Determines Team Performance in Call Centers, ASE/IEEE Social Informatics (2012.12)
- 16) M. Csikszentmihalyi: Flow: The psychology of optimal experience, HarperCollins Publishers (1990)
- 17) ピーター・F・ドラッカー(上田厚生訳):明日を支配するもの, ダイアモンド社 (1999)

執筆者紹介



矢野 和男

日立製作所 研究開発グループ 所属
現在、技師長としてIoTや人工知能などの研究開発に従事
博士(工学)
IEEEフェロー、電子情報通信学会会員、応用物理学会会員、日本物理学会会員、人工知能学会会員
日立返仁会総務理事
著書『データの見える手』(草思社)



秋富 知明

日立製作所 研究開発グループ
システムイノベーションセンタ 知能情報研究部 所属
現在、人工知能の研究開発に従事
人工知能学会会員



荒 宏視

日立製作所 研究開発グループ
システムイノベーションセンタ 知能情報研究部 所属
現在、人工知能を用いた業務システムや社会サービスの研究に従事
博士(工学)
情報処理学会会員、人工知能学会会員、日本統計学会会員



渡邊 純一郎

日立製作所 研究開発グループ
東京社会イノベーション協創センタ サービスデザイン研究部 所属
現在、ウェアラブルセンサを用いた人間行動分析に関する研究に従事
博士(工学)
ACM会員



辻 聡美

日立製作所 研究開発グループ
東京社会イノベーション協創センタ サービスデザイン研究部 所属
現在、経営・マネジメントへのビッグデータ活用の研究に従事
プロジェクトマネジメント学会会員



佐藤 信夫

日立製作所 研究開発グループ
システムイノベーションセンタ 知能情報研究部 所属
現在、人間行動分析とデータマイニングの研究開発に従事
博士(コンピュータ理工学)
IEEE会員、電子情報通信学会会員、情報処理学会会員



早川 幹

日立製作所 研究開発グループ
システムイノベーションセンタ 知能情報研究部 所属
現在、人間行動センシング技術の研究開発に従事
電子情報通信学会会員



森脇 紀彦

日立製作所 研究開発グループ
システムイノベーションセンタ 知能情報研究部 所属
現在、人間情報システム、人工知能の研究開発に従事
博士(工学)
電子情報通信学会会員、経営情報学会会員、AIS会員