



6

川原 圭博

東京大学大学院情報理工学系研究科

日本を元気にする もったいない精神

新しい技術が生活に大きな影響を与えるとき、革新的技術による新体験の創出と、コスト削減や自動化による既存システムの高効率化、最適化という二側面があろう。たとえばApple社のiPodや、iPhoneなどに見られるような、前者の比重が大きい発明は、あらゆるしがらみのことをいったん忘れて、消費者のExperience（体験）は何かという根本的な問いを元に、強力なリーダーがトップダウンで設計・実装を行う開発手法が有効である。これはAppleに限らず、いわゆる米国の会社が強い印象がある。後者はもの作りの国としてかつての日本の高い経済成長を支えたお家芸である。たとえば自動車設計においては、最高のエンジン、トランスミッション、サスペンションそれぞれが乗り心地という1つの性能指標に影響を与えるため、適当に組み合わせても全体として最高の能力を発揮できないため、部品同士の配置や設計のボトムアップの擦り合わせを行い全体性能を最適化することが非常に重要になる¹⁾。モノ本来の価値を活かせない事態に直面すると、「ああ、もったいない、もうちょっとうまくやれるのに」という感情、創意工夫が自然と沸き起る。日本人はこの感覚をいつ頃から植えつけられるのであろうか。なにか「日本を元気にする」ヒントにならないものか。本エッセイ(?)の執筆依頼をいただいたとき、そんな風なことが頭をよぎった。

うも諸説あるようだ。仏教的解釈によれば、「勿体」という事物のすべてが互いに多くの縁でつながっている状態を示す言葉があり、「勿体ない」はその一端をつぶし汚す結果を招くところから来たという²⁾。一方で「もったいない」という言葉は中世の文献に登場し、「もったい」という言葉が単独で現れるのはそれ以降の、近世になってからであるとする指摘もある³⁾。現在30歳代の方々ならテレビCMで繰り返し放送されていた「もったいないお化け」をご記憶の方も多いかも。夕食を食べ残した子供たちのもとに、夜、食物の姿をしたお化けが現れ、子供を取り囲んで脅すというこのCMに描かれている情景には、もったいないという言葉が、あるものが持つ価値が十分に活用されず無駄になるのが惜しいというだけでなく、万物には神が宿っておりそれを無駄にすると神の怒りを買われ崇められるというアニミズムの典型的な宗教観が描かれているようにも思える。「もったいないお褒めのお言葉」という文例のように、もったいないには「身に過ぎておそれ多い。かたじけない」という意味があることから、この言葉がいかなる成り立ちであるにせよ、単純に合理的な判断を表現した言葉ではなく、すべてのモノの背後に他者や不思議な力とのかかわりを見だしそれを積極的に尊重するという、日本独自の価値観が反映された言葉であると言えよう。

■ もったいないのルーツ

「お百姓さんが一生懸命作ってくれたお米なので、最後の一粒まで有り難くいただきなさい」と家庭や学校でもよくしつけられた記憶がおりかもしれない。もったいないという言葉の語源を紐解くと、ど

■ ノーベル賞につながったもったいない精神

「もったいない」エピソードとして、筆者の記憶に残っているのは2002年に「ソフトレーザ脱離イオン化法」でノーベル化学賞を受賞した田中耕一氏の話である。分子等の質量分析では、計りたい物質に

レーザー光を当てるなどしてイオン化し、イオンを大きさごとに分け、分けたイオンを測定してデータ解析を行う。それまでタンパク質等の分子量の大きな物質に強いレーザを直接照射してしまうと、エネルギーが大きすぎて分解してしまいイオン化することができず、正確に質量を知ることが不可能とされていた。そのため、田中氏は試料にマトリックスと呼ばれる緩衝剤として機能する物質を混ぜることでこのエネルギーを和らげ、タンパク質分子を丸ごと気化、イオン化することに成功した。このマトリックス用の物質として何を用いるかが鍵となるが、なかなか良い材料が見つからずにいた。ある日、コバルトの超微粉末をマトリックスとして試す際、アセトンと間違えて別の実験用のグリセリンを混ぜてしまったという。田中氏はすぐに間違いに気づいたものの「もったいない」ので粘り強く評価してみたところ、これがイノベーションにつながったという。田中氏の言葉を真に受けてしまうと「そうですか、それは幸運でした。やはりモノは大事にすべきですね」とでも言ってしまうようになるのだが、たぶん、本質はそこではない。田中氏自身が後日談として述懐しているように⁴⁾、金属超微粉末とグリセリンが混ざったモノを手にしたとき、卒業論文のときの電磁波工学の知識や、テレビ番組で見たレーザによる痔治療のエピソードなどが脳裏をよぎり、それらの知識がインスピレーションとなり、こいつはひょっとするとレーザの余分なエネルギーを吸収する役割を持つかもしれない、すなわちこれを試さないことが「もったいない」と考えたと解釈すべきであろう。

■ Energy Harvesting

現在筆者は、Energy Harvestingの研究に注目している。Energy Harvestingとは（時として微少な）環境中に存在するエネルギーを積極的に回収し、電子機器等無電源で利用するフレームワークのことであると捉えている。このEnergy Harvestingという考え方は、もったいないという発想と切っても切りはなせない。たとえば太陽電池。太陽から照射される光のエネルギーは最大約1kW/m²にも達する。

この光は、モノを照らしたり海や空気を暖め、一部は光合成等にも使われる。多くのエネルギーは、可視光や赤外線などの電磁波として宇宙へ再放射されており、非常にもったいない。その他、水力、風力、地熱など、少しの工夫で電力への変換が可能な自然エネルギー源は多くある。このあたりは2011年の震災に伴う原子力の代替エネルギーの議論で注目度が増した技術でもある。

しかし、Energy Harvestingの研究として、技術的に面白いのは、人工物が副産物として生み出すエネルギーの利活用である。たとえば自動車1つとっても、もったいないエネルギーが多く存在する。まずはハイブリッド車や電気自動車（あるいは電車）が止まるときの運動エネルギーを電気エネルギーに変換して蓄える回生ブレーキは有名な例である。また、アメリカではタイヤ空気圧を監視し低下を警告するTire Pressure Monitoring System（TPMS）の装着がすべての新車に義務づけられている。TPMSはタイヤやホイール内部にセンサを取り付け、タイヤ内の空気圧や温度をモニタリングし車体に装着した受信機に無線でその情報を送信する。その駆動にはバッテリーが用いられ、タイヤの耐用年数に合わせて5年程度使える容量のバッテリーが搭載されている。このモジュールの小型化軽量化とメンテナンスフリー化を目指し、タイヤ自身の走行時の細かな振動をピエゾ素子により電力に変換し、バッテリーレス化を進める試みが存在する。そして、路面からの衝撃を和らげるショックアブソーバーも大きなエネルギーを生む。車重の重いトラックは、その上下動から一輪あたり1kWもの電力を得ることができ、この電力で車自体の燃費を1割向上することができるという。しかも、能動的に減衰力を調整することもできるため、乗り心地の向上まで見込めるという（図-1）⁵⁾。

■ 電波からのEnergy Harvesting

筆者も、無線センサネットワークの永続的な動作を目的とした、環境電磁界からのEnergy Harvestingに取り組んでいる。日常生活中において、



図-1 Levant Power社の振動で発電するショックアブソーバー⁵⁾



図-2 東京タワーからの放送電波からエネルギーを受信して動作するセンサノードのプロトタイプ

テレビやラジオ、携帯電話、無線LAN、ICカードなど電波を活用したシステムが増加傾向にある。これらは主に放送や通信のために敷設されたものであるが、より広いエリアをくまなくカバーするために設計されているという性質を持つ。これを裏返せば、こうした環境中に漂う電波から電力を回収することができれば、いつでもどこでも利用できる電力源としての利用が可能になることを意味している。しかも、いったんアンテナによって放射された電波は、四方八方に伝播し、ある部分は本来の放送通信目的で利用され、そして多くの部分は障害物に吸収され熱になったり宇宙へと拡散したりする運命にある。

携帯電話サービスを提供する通信事業者が1年間にネットワーク機器に利用した電力使用量のうち、実に80%がBTSと呼ばれる無線基地局での電波発信のための電力消費に利用されたという統計情報がある。これを国内の携帯電話オペレータに当てはめ、さらにこれを加入者1人あたりに換算すると1日に70Whもの電力を無線通信部に消費していることになる。フィーチャーフォンと呼ばれる一般的な携帯電話のバッテリーパックの容量は数Whである。したがって、携帯端末が1日で消費する電力の数十倍に相当するエネルギーが放出されていることになる。何ともったいないことか。もちろん飛んでいる電波を全部捕まえてしまえば、通信ができなくなる。しかし無指向性のアンテナから発せられた電力をすべて受信することは難しい。それが容易であれば、ニ

コラ・テスラの現代での評判はさらに高かっただろう⁶⁾、マイクロ波による宇宙太陽光発電⁷⁾の実現はもう少し近いかもしれない。

とはいえ実際には、携帯電話1台のアンテナから取り出せるエネルギーは $1\mu\text{W}$ にも満たず、電池の代わりに利用することは難しい⁸⁾。筆者らは現在のところ、東京タワーから6km離れた東京大学構内において、東京タワーからの地上デジタルテレビ放送の周波数帯から $100\mu\text{W}$ 程度の電力を取り出し、実際に無線センサノードを自立動作させることに成功した(図-2)⁹⁾。昨今のセンサや無線チップ、マイコンの低消費電力化も相まって $100\mu\text{W}$ の電力が得られれば実現できるアプリケーションは意外と多いが、電波を電力に変換する整流回路のロス、コンデンサに蓄電する際の漏れ電力、マイコンのソフトウェアのオーバーヘッドなど、まだまだ擦り合わせが足りず、もったいない点が多い。現在それらの問題を日米のチームでこつこつと解いている最中である。

■ まとめに代えて

もったいない精神という、何か少し貧しい時代を思い起こさせるようなニュアンスも伴う。しかし、そのルーツを紐解くとすべてのモノの背後に他者や不思議な力とのかかわりを見だしそれを積極的に尊重するという、日本独自の価値観にもつながる、深い考え方であるようにも思える。筆者が現在取り組んでいるEnergy Harvestingにおける「もったい

ない」はまだまだ、そうした深みに至る性質のものではない。Energy Harvestingにせよ何にせよ、事物の背後でのつながりを汲み取ってこれを活かすような立派な仕事をする。これが日本を元気にするための、1つの策になり得るかもしれないなどと考えている。

参考文献

- 1) 藤本隆宏:日本のものづくり哲学, 日本経済新聞社.
- 2) 日常生活における仏教語, 浄土宗Web サイト, <http://www.jodo.or.jp/knowledge/word/45.html> (参照2011-12-01).
- 3) 下野 博:「もったいない」という言葉, <http://www5.ocn.ne.jp/~vorges/sub17..html> (参照2011-12-01).
- 4) 田中耕一, 伊澤達夫:対談:アンテナを張る, 電子情報通信学会誌, Vol.90, No.9, pp.769-779 (Sep. 1, 2007).
- 5) More Power From Bumps in the Road, MIT tech talk, Vol.53, No.15, p.4 (Feb. 2009).
- 6) 川原圭博:電源コードをなくすー無線電力伝送とエネルギーハーベ

- ティング, 情報処理, Vol.52, No.1, pp.56-57 (Jan. 2011).
- 7) 宇宙での太陽光発電実用化に向けて, JAXA, http://www.jaxa.jp/article/interview/vol53/index_j.html (参照2011-12-01).
 - 8) 川原圭博, 塚田恵佑, 浅見 徹:放送通信用電波からのエネルギーハーベストに関する定量調査, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.3, pp.824-834 (Mar. 2010).
 - 9) 川原圭博, 西本 寛, Rushi Vyas, Manos M. Tentzeris, 浅見 徹:紙に印刷する無線センサノード, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-UBI-30 No.2 (May 2011).

(2012年1月9日受付)

■ 川原 圭博 (正会員) yoshihiro@kawahara.net
2005年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。同助手、助教を経て2010年同講師。2011年ジョージア工科大学客員研究員。現在は、エネルギーハーベスティングと無線給電の研究に注力。

