

高次元デザイン・ドリブン・イノベーションとしての「数楽アート」 —— 京都企業へのインプリケーション ——

金光 淳

要 旨

「数楽（すうがく）アート」は、ボンダーなど FPD（液晶パネルディスプレイ）やマイクロデバイス実装・検査装置の開発・製造を行っている東京・大田区の中小企業が、板金加工の技術を活かして開発した「金属製アート製品」であり、「二次関数」を立体表現し、数学とアートが結合した製品として各界で注目されている。この論文では、このユニークな製品の開発を、意味の急進的变化を特徴とする「デザイン・ドリブン・イノベーション」(Verganti, [2009]2012) の高次元ヴァージョンとしてとらえることによってその可能性を探り、今後の日本企業、とりわけ「知恵産業」を志向する京都企業へのインプリケーションについて論じる。

はじめに

デザイン主導の製品はわれわれに感動と喜び、ワクワク感を与え、至福の生活体験を可能にしてくれる。イタリアのフェラーリは目が飛び出るほどの高額にも関わらず、「セクシーなデザイン」によって世界中のスポーツ選手や映画俳優などのセレブを魅了し続けている。

イタリアや北欧の食器、家具、照明器具メーカーはひと味違ったデザイン・センスによって魅力ある製品を生み出し続けている。¹⁾ その一つイタリアの家庭用品メーカー ALESSI のバード・ケトルは、注ぎ口のカワイイ小鳥形の笛が、お湯が沸くときに「さえずり」で知らせてくれる製品である。2万円ほどするが、最近では日本でも結婚の贈答物の定番となりつつある。

デザインが製品価値を高め、ひいてはブランド価値（株式時価総額）を高めている例は Apple の製品を例に出すまでもなく世界中に少数ながら存在し、近年では「デザイン・インスパイアード・イノベーション」(Utterback, 2006) などと呼ばれている。

この論文では、接着機械では世界的なシェアを有しながら、デザインに数学を利用し「数式アート」オブジェを製品化し、本業の販売増につなげているユニークな東京の中小企業に焦点を当てる。同時にその可能性を探り、新たな商品展開も展望する。最後に今後の京都企業へのインプリケーションについて論じてみたい。

1) なかでもファッション産業も盛んでプロダクト・デザインの世界的中心地であるミラノを抱えるロンバルディア・デザイン・クラスターはイタリアの家具メーカーの 1/4 が集中し、各種の優れたデザイナーが集中していることで知られている (Verganti, [2006] 2007)。

1. 大橋製作所とはどんな企業か？

大阪の東大阪とともに中小企業の町として知られる東京大田区の一部、大森に本社を構える大橋製作所は、町工場として1916年に創業され、太平洋戦争を経て1959年に第二創業された中小企業である。大橋製作所は、板金加工とACF（異方性電動フィルム）接合技術を実装した各種装置の開発・製造・販売を複合的に展開している特徴のある優良中小企業に数えられる。²⁾

資本金は9600万円、従業員98名（2013/3/31現在）で、管理部門を兼ねた東京・大森本社にはメタル事業部の工場も存在し、埼玉県・加須市にある埼玉工場には、ACF関連装置などを開発する機器事業部が置かれている。また近年埼玉県・羽生市にできた東工場にも組立てを中心とするメタル事業部が置かれている。

1970年代前半から板金加工専業から脱皮するために自社製品の開発を志向し、1979年に初の自社製品となる「ターレットパンチプレス用特殊金型」を開発したのをきっかけに1984年に「メタル事業部」と「機器事業部」に事業部制を採用した。ほどなく受託製品として熱圧着装置を開発することに成功し、「ハイネックス・ウェルダ」と名付けられた熱圧着装置は1993年に外販が開始され、LCD（液晶パネル）実装分野での採用が進んだ。

1999年には卓上型実装装置「Simple COG」が開発され、これは「日経優秀製品・サービス賞」を受賞することとなった。その後、セミオートACF実装装置を経て、2006年には世界初のフルオート実装装置が開発・販売されるようになった。この装置は有機ELパネルやスマホの貼付けに、全世界の工場で利用されている。

大橋製作所の作成した装置は、最先端の情報機器の製造で大きな役割を果たしており、光学樹脂ミネーティング装置（2007年）、LEDチップをLEP（異方性導電剤）で一括高密度接着する実装装置（2011年）では世界的なシェアを有し、受託設計もマイクロ波加熱装置やHDD用磁気ヘッド接着装置など幅広い分野に渡っている。

経営理念としては「顧客・パートナーと共に市場を創造し、新しい製品・サービス・価値を社会に提供する」を掲げ、5つある行動理念のなかでは特に「科学技術の成果を学び、魅力的な商品を絶えず提供する」「全員参加の経営で企業の発展と社員の生活向上を図る」を強調している。その結果として、進歩的でビジョナリーな経営者の下、風通しがよく、社員の創造性を奨励する企業風土が息づいている。

2) 第二創業は、創業者である父親の急逝を受けての、現社長、代表取締役大橋正義氏によるものである。当時、大橋正義氏は法政大学の工学部の学生であった。法政大学の縁で、社員には法政大学工学部大学院出身者も存在する。大橋正義氏はビジョンのある経営者として有名で、進歩的な企業家の団体である中小企業家同友会では豊富な人脈をもった「論客」「理論家」としても名が通っている。

2. 「数楽アート」とは何か？

2-1 数学アートと数学利用

数学は、それ自体が抽象的思考を論理的に導き、新たな知見をもたらしてくれる思考言語である。また国境や学問の垣根を越えてユニバーサルなコミュニケーションを可能にし、自然・社会などの現象の解明、新たな発見をもたらす科学の共通言語でもある。

グローバル競争を強いられ、高度な製品開発が求められる現代企業において、数学利用は競争優位性をもたらす「兵器」となりつつある（文部科学省科学技術政策研究所，2007）が、そもそも数学は、その実用的応用である数理工学を媒介として製品開発とは深い関係にあると言える。

第一に数学は、製品の企画や計画をすすめる上での思考のためのツールとして使用される。これは論理学としての数学である。

第二に、製品開発における諸対象の現象をモデル化するための数理モデルとして使用される。これには保険商品や金融商品の数理モデルも入る。情報工学における暗号技術のモデル等のほか、製造現場における物理的現象や論理構造の解明のためのモデル言語として使用される。

第三に、数学はアルゴリズムを伴って、製品開発、それに関わる様々な計算機実験（シミュレーション）を実行するための数値解析のツールとして使用される。

第四に、数学は、第三と密接に関連するが、様々な統計解析の言語としても使用される。昨今の「ビッグデータ解析」の台頭のために、その存在感は増している。

最後に、数的構造自体が論理性とともに美的な規則性を有しており、グラフ化などによって幾何学的な図形の表現に使用される。この場合、それ自体は数理的、論理的、解析的な意味よりは美的な意味が強調されていると言える。

「数楽アート」は、最後に挙げた、「数学の美的構造を表現する能力」を最大限利用した製品開発の賜物である。

例えば、

$$z = 1 - \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$

で表される二次関数は、図1左のように三次元のグラフで表現すると、「エンパイヤーステートビルの尖塔部分」のような立体として表現される。また、これを少し変形した式

$$z = 1 - \sqrt{x^2 - y^2} \quad (2)$$

で三次元グラフ求めると、今度は「船のスクリュー」のような立体ができて上がる（図1右）。

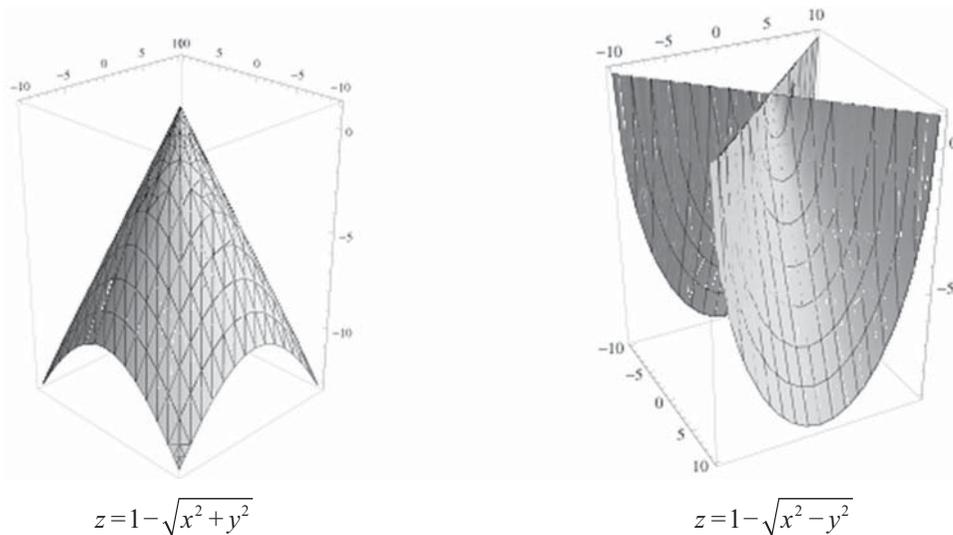


図1 関数式の3次元グラフの例
出所) MATHEMATICA 9による描画

大橋製作所では、大学の研究者の協力を得つつ、様々な二次関数式から立体をデザインし、板金から金属のモデルを作成しアート製品として販売し始めたところ、各界で注目を集めることになった。

ちなみに上の式(1)で表現される立体は、実際に「COMET」=円錐というネーミングで販売しているほか、「PEGASUS」とネーミングされた3種類の「馬の鞍」のほか「放物線」「半球」「波紋」「偏心波紋」「円筒の交差」「ガウス関数」と名付けられた10のアート作品が製品化されている。³⁾中でも、「馬の鞍III」は、

$$z = 2axy \tag{3}$$

$$z = a(x^2 - y^2) \tag{4}$$

の2つの式を組み合わせて作成しているのが興味深い。

各製品は、もちろん一つ一つ職人が作った個別生産品である。またこれらの製品自体は鋭利な金属製であるので、透明の陳列ケースをつけて販売されている(図2)。

3) 昨年(2012年)は東京スカイツリーのオープンを記念して、1/1000の東京スカイツリー模型も製品化された。またこの(2013年)6月には12作目として「トーラス」とネーミングされた、真ん中をくりぬいた「ドーナツ状」の立体も製品化された(日刊工業新聞 06/07/2013)。

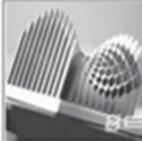
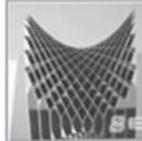
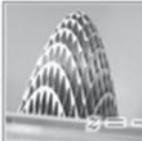
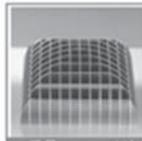
 <p>PEGASUS I 【馬の鞍Ⅰ】</p> $z = axy$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AB002</td> <td>120×120×135</td> <td>¥110,000</td> </tr> <tr> <td>AA002</td> <td>100×100×110</td> <td>¥90,000</td> </tr> <tr> <td>AJ008</td> <td>84×84×91</td> <td>¥28,000</td> </tr> <tr> <td>AH008</td> <td>70×70×73</td> <td>¥18,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AB002	120×120×135	¥110,000	AA002	100×100×110	¥90,000	AJ008	84×84×91	¥28,000	AH008	70×70×73	¥18,000	 <p>PEGASUS II 【馬の鞍Ⅱ】</p> $z = a(x^2 - y^2)$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AC003</td> <td>140×140×130</td> <td>¥125,000</td> </tr> <tr> <td>AB003</td> <td>120×120×102</td> <td>¥110,000</td> </tr> <tr> <td>AJ005</td> <td>84×84×71</td> <td>¥28,000</td> </tr> <tr> <td>AH005</td> <td>70×70×64</td> <td>¥18,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AC003	140×140×130	¥125,000	AB003	120×120×102	¥110,000	AJ005	84×84×71	¥28,000	AH005	70×70×64	¥18,000	 <p>PEGASUS III 【馬の鞍Ⅲ】</p> $z = axy$ $z = a(x^2 - y^2)$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AC001</td> <td>143×143×130</td> <td>¥162,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AC001	143×143×130	¥162,000
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AB002	120×120×135	¥110,000																																				
AA002	100×100×110	¥90,000																																				
AJ008	84×84×91	¥28,000																																				
AH008	70×70×73	¥18,000																																				
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AC003	140×140×130	¥125,000																																				
AB003	120×120×102	¥110,000																																				
AJ005	84×84×71	¥28,000																																				
AH005	70×70×64	¥18,000																																				
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AC001	143×143×130	¥162,000																																				
 <p>COMET 【円錐】</p> $z = 1 - \sqrt{x^2 + y^2}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AA001</td> <td>130×130×150</td> <td>¥114,000</td> </tr> <tr> <td>AJ002</td> <td>90×90×103</td> <td>¥30,000</td> </tr> <tr> <td>AH002</td> <td>68×68×78</td> <td>¥18,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AA001	130×130×150	¥114,000	AJ002	90×90×103	¥30,000	AH002	68×68×78	¥18,000	 <p>GRAVITY 【放物面】</p> $z = a(x^2 + y^2)$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AB001</td> <td>141×141×150</td> <td>¥123,000</td> </tr> <tr> <td>AJ001</td> <td>99×99×105</td> <td>¥32,000</td> </tr> <tr> <td>AH001</td> <td>69×69×73</td> <td>¥18,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AB001	141×141×150	¥123,000	AJ001	99×99×105	¥32,000	AH001	69×69×73	¥18,000	 <p>STELLA 【半球】</p> $z = \sqrt{r^2 - (x^2 + y^2)}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AF001</td> <td>120×120×60</td> <td>¥90,000</td> </tr> <tr> <td>AH003</td> <td>70×70×35</td> <td>¥18,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AF001	120×120×60	¥90,000	AH003	70×70×35	¥18,000			
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AA001	130×130×150	¥114,000																																				
AJ002	90×90×103	¥30,000																																				
AH002	68×68×78	¥18,000																																				
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AB001	141×141×150	¥123,000																																				
AJ001	99×99×105	¥32,000																																				
AH001	69×69×73	¥18,000																																				
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AF001	120×120×60	¥90,000																																				
AH003	70×70×35	¥18,000																																				
 <p>HAMON 【波紋】</p> $z = a \cos \sqrt{x^2 + y^2}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AD001</td> <td>180×180×70</td> <td>¥145,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AD001	180×180×70	¥145,000	 <p>HENSHIN HAMON 【偏心波紋】</p> $z = a \cos \sqrt{x^2 + y^2}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AE001</td> <td>200×200×70</td> <td>¥177,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AE001	200×200×70	¥177,000	 <p>ENTO-NO-KOSA 【円筒の交差】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AB004</td> <td>120×120×60</td> <td>¥90,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AB004	120×120×60	¥90,000																		
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AD001	180×180×70	¥145,000																																				
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AE001	200×200×70	¥177,000																																				
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AB004	120×120×60	¥90,000																																				
 <p>GAUSSIAN 【ガウス関数】</p> $z = a \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{b}\right)$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AJ011</td> <td>113×113×75</td> <td>¥37,800</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	AJ011	113×113×75	¥37,800	 <p>メタルクリスタル 東京スカイツリー®</p> <p>Leading Japan, Brightening the Future</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>寸法 (mm)</th> <th>価格 (税込)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MC001</td> <td>全高 634mm</td> <td>¥180,000</td> </tr> </tbody> </table>	番号	寸法 (mm)	価格 (税込)	MC001	全高 634mm	¥180,000	<p>株式会社 大橋製作所</p> <p>TEL 03-3744-5351 FAX 03-3744-5749</p> <p>www.sugakuart.com www.facebook.com/sugakuart</p>																								
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
AJ011	113×113×75	¥37,800																																				
番号	寸法 (mm)	価格 (税込)																																				
MC001	全高 634mm	¥180,000																																				

図2 「数楽アート」の製品
出所) 大橋製作所作成製品価格表パンフレット PDF からの抜粋

2-2 数学アート開発秘話と製品の特徴

「数楽アート」は、大橋製作所の創業以来の培ってきた精密板金加工の「匠の技」を活かした挑戦的な製品であると言えるが、それはある「偶然」によって始まったものである。大橋製作所作成のパンフレットから、そのあたりの誕生秘話を大橋氏自身の言葉で紹介してみよう。

弊社が、数学をモチーフとした作品を創ろうと決意したのは、2009年6月—大学で数学教育の研究をされているX先生の研究室を訪れたときのことです。

訪問目的は、統計学に関するある装置の開発についての打合せだったのですが、ふと室内に飾ってあった紙製の不思議な立体模型に目がとまり、「これはなんですか？」と質問したのが、そもそもの始まりでした。

先生は嬉しそうに模型を手にとると、「2変数関数が描く軌跡に沿って紙を切り、その紙を格子状に組み上げることで関数が示す立体像を表現したものである」と説明してくれました。

「これが金属で出来たらどんなに美しいことだろう……」

その先生の一言で、創業以来の伝統である弊社の挑戦心に火がつけました」

「それでは、弊社が挑戦します！」

大学の先生を驚かせてみたいという気概と共に、弊社の技術力をアートの世界に広げることで豊かな生活空間を提供することに貢献したい、さらには日本の職人の高い技術を広く知っていただくことで、モノづくりに対する評価、誇りを取り戻したい—そんな想いから、数楽アートの開発が始まったのです。

(大橋製作所パンフレット, 2012).

「数楽アート」の作成においては精密板金加工の方法と匠の技が活用され、最終的にアート作品として完成に至る。これを順に追ってみよう。

1) 企画：まず、第一に製品コンセプトの企画である。ここではどんな関数で表現するのか、一つの関数の符号が変わったりしただけの「逆関係式」でいくのか、あるいは単独でくのか、2つの式を組み合わせるのか、等が検討される。数学の関数式を探索し、機能の観点からではなく、美しさの観点から「形」を決めていくという意味で、これは通常の製品開発の企画とは異なると言える。設計、組立のしやすさから関数式が決定されることもある。

2) 設計：この工程では、関数式を金属板で表現するための設計（組立）図がCADなども使用して作られる。板金を加工することは大橋製作所にとっては「伝統の技」であるが、数楽アート製品では、そのように板金を切削・加工しながら、いかにそれらを組立てるかの設計図づくりが行われる。その際に試作品が何度も繰り返して作られる。

3) NCデータ作成：設計された組立図に基づいて、板金を切削・加工するための厳密なNCデータ生成が行われる。これだけ見れば通常の板金加工と変わらない。

4) レーザー加工：作成されたNCデータに基づいてレーザー加工が行われ、板金が実際に切削・加工される。3)と4)はセットになっていると考えてよい。

5) 組立：専用の工具などを作成したりもして、傷がつかないように細心の注意をはらって製品を組み立てる。

6) 品質検査：通常の工業製品と同じように、あるいはそれ以上に美しさを損ねていないかを検

査する。色合いや、なによりも光沢具合も検査の対象となりうる。⁴⁾

一方で「数楽アート」製品は、大橋製作所にとっては伝統の板金加工技術で受注生産を行う通常の工程で生産される製品と何ら変わらない。しかしこれが伝統の「匠の技」をユニークなコンセプトの下に応用し、全く新しい製品を開発したと評判になった。

「数楽アート」製品は、まず2010年7月開催の「第1回教育ITソリューションEXPO」に出展されたのを皮切りに、同年9月に丸善・日本橋店で「数楽アートを楽しむ展」で2週間に渡り展示された。その後、丸善・丸の内本店などで常設展示・販売が行われ、今では丸善のホームページを通じて提携先のAmazonでもクレジットカードで購入できるようになった。

強調すべきは、「数楽アート」は各種メディアで数多く取り上げられたことである。「数楽アート」そのものを紹介する記事は、朝日新聞、読売新聞、日刊工業新聞、日経MJなどに掲載された(図3)。特にNHKのNews Watch 9(7/25/2012)ではスタジオに製品が置かれて紹介されたのは驚きである。さらに報道でないが、ビートたけし司会の番組『たけしのコマ大数学科』(フジテレビ系)では製品が展示され、『数学♥女子学園』(日本テレビ系)ではドラマのセットとして製品が使われた。

製品としてみると「数楽アート」は比較的高額なインテリア製品と言える。定価は安いもので1万8千円、高いものは18万円もするが、価格は製作者の言い値として付けられている。⁵⁾

ターゲットとしては、個人では数学教育関係者、医者などの知的職業従事者、建築・デザイン・アート系の職業従事者や学生、法人としては高等専門学校、大学(教材や図書館の展示物)、金属メーカー(取引先への贈り物)、数学関係団体(褒賞として)、出版社・TV局(雑誌の表紙・ドラマセット)などを想定している。特に法人向けでは、今後販路が広がりそうである。

数楽アート製品のセールスポイントは、大橋製作所自身が作成した宣伝のためのパンフレットでは、次の3点が強調されている。

1) 光のハーモニー：ステンレス鋼材の光沢が幾重にも重なり光のハーモニーを奏でる；2) 「理」の美しさを楽しむ商品：図形の断面の円形が、宇宙へのロマンを刺激し、「理」の美しさを楽しむことができる；3) 答えのある美しさ：通常の芸術品のように「答えのない美しさ」ではなく、数学に裏付けられた「答えのある美しさ」を楽しむことができる。

後述するようにこのうち、3)は数楽アートにとって最も特徴的な点であると思われる。

現在数楽アートの売り上げは大橋製作所の15%を占めている。高額であることを考えると決して少なくない売り上げである。今後の課題としては、「本業である工作機械との統一性をどう持たせる

4) この意味ではAppleのiPodが裏面の光沢にこだわったこと通底する部分がある。iPod nanoの製品工程において、表面の高級な質感を出すためにコーティング剤ではなく、徹底した研磨が施されたことは有名である(日経デザイン、2012)。

5) 価格を製造者である職人に決めさせている理由は、「そのことによって労働者である彼らの誇りをとりもどすため」とであるとされる(大橋正義社長とのインタビュー)。

かである」とのことである（大橋正義社長とのインタビュー）。



図3 「数楽アート」を取り上げた朝日新聞の記事（4/23/2012）

このような野心的な挑戦である「数楽アート」は、単にアート作品として鑑賞する「数学模型」を製品化したに留まらず、それによって数学の奥深さを実感し「数学を知性で楽しむ」という新たな意味的価値作り成功した例と思われる。そこで、そのようなイノベーションを解釈する枠組みとして近年注目されているイタリア発とも言えるイノベーション論についてレビューすることしよう。

3. デザイン・ドリブン・イノベーションとしての「数楽アート」

3-1. デザイン・ドリブン・イノベーションとは何か？

デザインとはモノに意味を与えることである (Verganti, [2009] 2012)。が、ここ数年の iPhone, iPad などのアップル製品の快進撃以来、デザイン重視の経営と製品開発に関する関心が加速度的に高まっている (Utterback et. al 2006; Verganti, [2009] 2012; Brunner et. al.; 2008)。なかでもインダストリアル・デザインの先進国イタリアの Verganti (2009) の提唱するデザイン・ドリブン・イノベーション (Design-Driven Innovation: DDI) 論は、製品やサービスの新たな「意味的な価値」を作り出し、消費者の既存の価値観やライフスタイルを根本から変化させてしまうような急進的な意味のイノ

バージョンを強調する議論として大きな注目を集めている（図4）。「新たな価値」に注目した議論は日本でも「価値づくり経営論」として展開されているが「製造業者の論理」が強い感が否めない（延岡，2011）⁶⁾

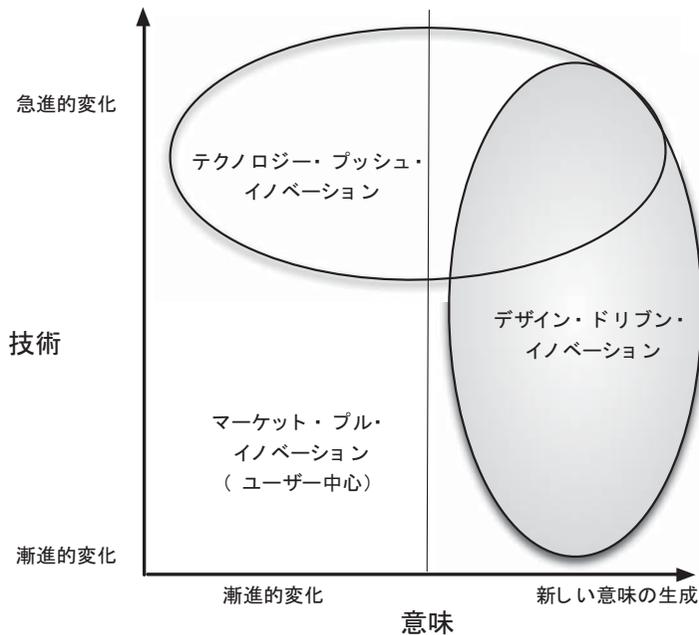


図4 DDI と他のイノベーションとの関係
出所) Verganti, [2009] 2012, p. 19

旧来のイノベーションとしては、画期的な技術のブレイクスルーによって製品の急激な機能変化がもたらされることを典型とする「技術プッシュ・イノベーション」と、消費者からの声を反映して漸進的に機能を高めることを典型とする「マーケット・プル・イノベーション」があるとされてきた。しかし、技術プッシュ・イノベーションとマーケット・プル・イノベーションが単に組合わさるだけでは、価値観を一新するようなDDIは起きない。というのは、社会生活における製品の受容において新しい意味を付加することに長けた媒介的役割を担った専門的なアクター（文化の解釈者）による正当化プロセスを経なくては、価値観やライフスタイルは転換されないからである。

彼は、製品開発企業に關与する製品の発明者、技術サプライヤー、デザイナー、他の業種、小売・配送業者といった技術サイドのアクターだけでなく、芸術家、メディア、社会学者や人類学者などの様々な文化的生産に關与する「社会文化的な解釈者」が密な社会ネットワークを形成して共に「新しい意味の創造」に關与していると考えている（図5）。このような議論は、文化先進国フランスや

6) 延岡（2011）は「意味的価値」を「特定の顧客が主観的に意味付ける価値」としているが、これでは狭い概念になり、意味が様々な解釈者を通じてネットワーク的に拡大、普及して行くプロセスを記述できない。

イタリアの社会学者にはよく見られる議論であるが、イノベーションの社会ネットワーク論的解釈として極めて興味深い理論である。⁷⁾

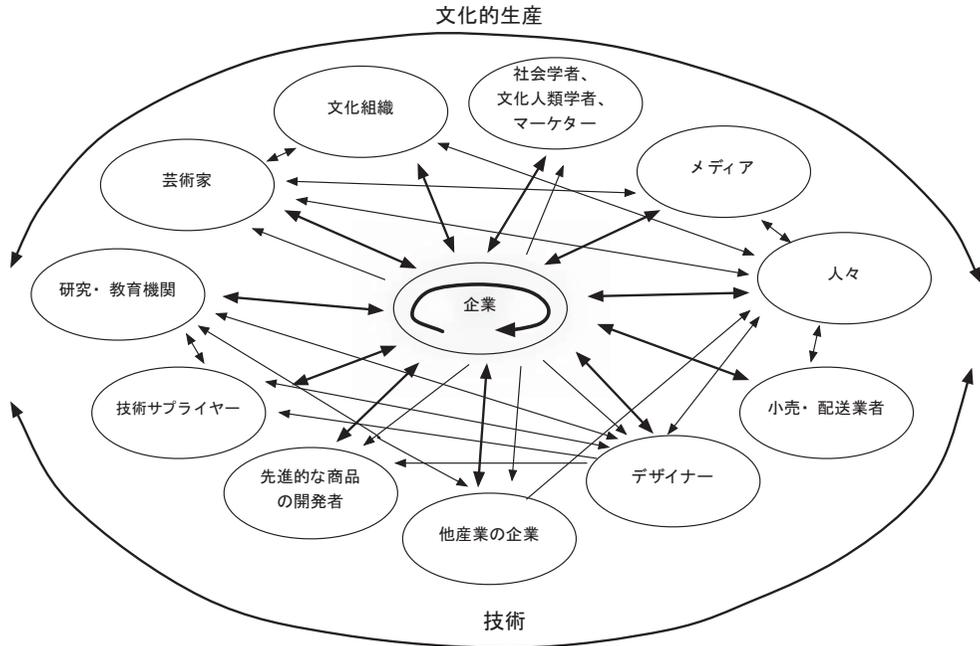


図5 新しい意味の創出に関わる解釈者の社会ネットワーク
出所) Verganti, [2009] 2012, p. 29

彼の議論によれば、「意味の急進的なイノベーション」が「技術の急進的なイノベーション」と相互作用を起こすと技術的に急進的な改善をもたらすと同時に、新たな意味を生成する。それは言わば、イノベーションの「化学反応」であり、「技術が悟る瞬間」と表現される。この相互作用によって今まで「鳴りを潜めていた意味」が顕在化し、この境界で技術モデルと社会文化モデルが密接に関わり合って共進化し、産業的には大きな成功を成し遂げる (図6)。

7) このとき大学・研究所は双方の役割を有する重要なアクターである。またこのような議論は、言わばデザイン・ドリブン・イノベーションの「社会的な埋め込み social embeddedness」(Granovetter, 1985) 論でもあり、技術の社会的構成を強調するヨーロッパのアクター・ネットワーク理論とも整合的である (このあたりのレビューについては宮尾学 (2013) を参照せよ。

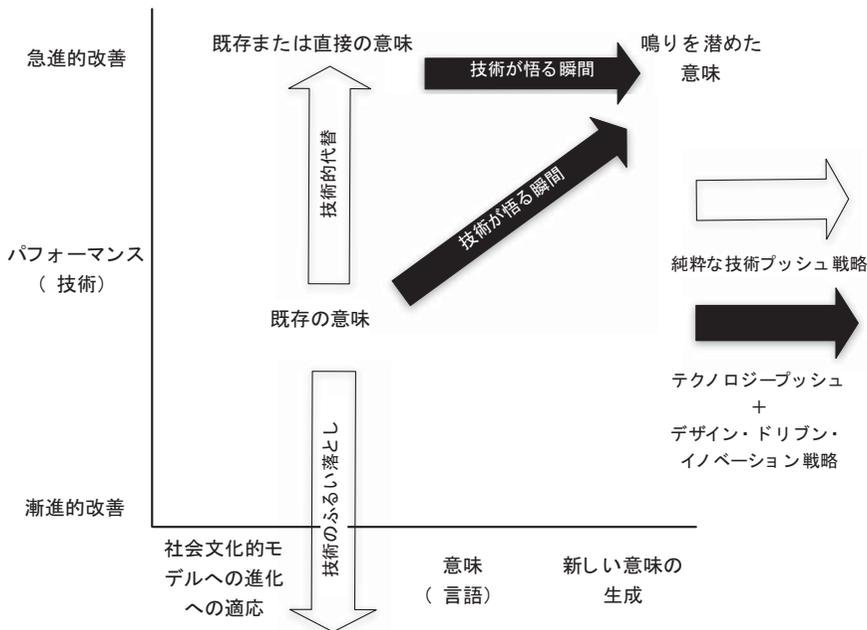


図6 DDI と「技術が悟る瞬間」
出所) Verganti, [2009] 2012, p. 123

3-2. DDI としての iPad

いま上でレビューした議論の論旨を明確にするために、iPad をテクノロジープッシュ戦略+デザイン・ドリブン・イノベーション戦略という観点からとらえなおしてみよう。周知の通り iPad は iPhone の成功を受けて 2009 年に Apple が投入したタブレット型情報機器である。昨年には発売以来の累積売り上げが一億台を越え、iPad mini も発売された。⁸⁾

実は当時は *Let's Note* や MacBook Air などの薄型のノート PC が存在し、更なる進化が求められており、また同時に iPhone をはじめスマホの進化も求められていた。また Amazon はすでに電子書籍 Kindle を出し「書籍端末」では先行していた。しかし、Apple は「パソコン PC」でも「スマホ」でも「書籍端末」でもない「タブレット端末」という新しいカテゴリーを創出し、われわれのデジタルライフを一新することに成功した。つまり、「茶の間でのデジタルライフ」という新たな体験を可能にするという新たな意味作りに成功したのである。

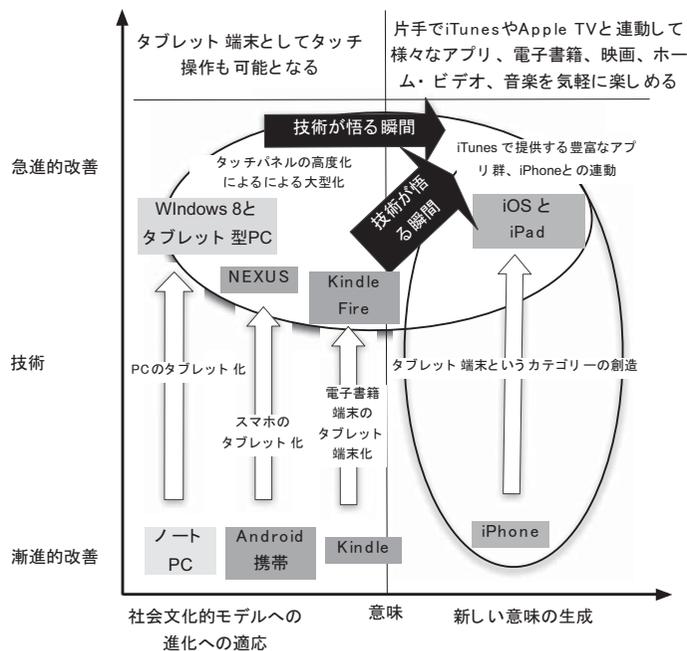
iPad は iPhone で採用した「スクロール」「ピンチ」「スワイプ」などのタッチ操作を搭載することで、iPhone よりも遥かに大きい画面で、茶の間や車 / 電車での移動中において気軽に電子書籍ばかりでなく映画やゲームを楽しんだり、ホーム・ビデオを編集できるようになった。しかも iTunes を通じて Mac, iPhone で購入したアプリを iPad でも連動して使用でき、デジタルテレビのハブである

8) IT Media (10/24/2012) <http://www.itmedia.co.jp/promobile/articles/1210/24/news044.htm>

AppleTVとも連動できる。⁹⁾

他方、Appleの長年の宿敵であるWindows陣営は、旧来のOSにマルチタッチ操作を可能にする機能をOSとして備えたタブレット型PCを上市したものの、売り上げは伸びていない、それに加えてWindows Phoneの売上も伸び悩み、未だにスマホと「タブレットPC」の十分なOS連動性を成し遂げていない。他方携帯本体の市場ではすでにAppleを上回るシェアを獲得しているGoogleなどのAndroid陣営の方は、¹⁰⁾ スマートフォンをそのまま大型化し、タブレット端末化したNEXUSなどを上市しているものの、売上は十分に伸びていない。また電子書籍端末としてそれなりのシェアを有していたAmazonはiPadの発売を受け、タブレット端末化したKindle Fireを発売したが、いまだに広く認知されていない。確かに将来的にはタブレット端末がPCを上回り、この市場におけるiPadのシェアの相対的な縮小も予想されているものの、彼らは所詮フォロワーに過ぎない。

このようにiPadは、単に旧来の薄型PCマシンを携帯用に薄型化して拡張したり、逆にスマホや電子書籍端末を大型化したものではなく、iPhoneと連動しつつ、それを鮮明な大画面で提供するという技術的イノベーションを成し遂げ、PCでもスマホでもない新しいカテゴリーを創出して意味の急進的な革新を成し遂げたと言えよう(図7)。



9) 去る6月10日には、恒例となった開発者会議WWDCにおいてAppleは将来的にはMacOSとの統合も視野に入れつつ、飛躍的な進化を織り込んだ新たなiOS7のβ版を発表した。今も9月にリリースが予定されるiOS7とMacOS Mavericksでは、より統合に向けた共通化が進んでいる。

10) 肝心のアプリの市場はAppleの独壇場であり、iOSアプリは市場の約74%を占める(同上WWDCにおけるTimothy Cookのキーノート・スピーチ)

3-3. DDI としての数楽アートの新規性、可能性

上の議論を叩き台として今度は「数楽アート」を特徴付けてみよう。¹¹⁾ iPad と並び DDI の例としての取り上げられる Wii は感性（と悟性）、とりわけ「体感」によってヴァーチャルな体験を可能し、また家族で遊べることで、新たな意味的な価値を創出した。「数楽アート」の場合はどうだろう。それは確かに感性的な刺激に溢れており、金属の虹色に輝く光沢と冷たい外観は視覚を刺激し、そのシンメトリーは癒しの感情ばかりか、畏敬の念も起こさせる。

しかしこの製品の最大の新規性は、背後にある数学的論理に気づくことで、感性と悟性を超え、知性に訴えかけ、オブジェとの高次元の「科学体験」を可能にしている点であろう。大橋製作所のパンフレットのキャッチコピーにあるように、数学には「答えがある」ので、それに対してアート作品としてイメージーションを働かせるだけではなく、「数式を組み合わせて別の図形を作るとどうなるのか」といった知的な興味も刺激しているのである。ここには、その一つだけの「解」を求めて、論理的に考えたり、グラフ化したりする「サイエンスの楽しみ」がある。つまり、「数楽アート」は、数学という「知的なゲーム」を楽しみながら、同時にその神々しい数学的な神秘を「アートとして楽しむ」ことを可能にしていると言える。¹²⁾

その理由としては、数学が「アート」の言語として「隠れた能力」を備えていることがある（石田，2005）。実はその根底には、「モノ」の構造が「数学で表現できる」秩序だった「美的構造」を有している由にほかならない。量子力学者ディラック（Dirac, 1930）は『量子力学』において「数学はあらゆる種類の抽象概念をとりあつかうのに最適の道具であって、この領域における数学の力は無限である」と述べ、量子状態を数学的に表現する「ディラック方程式」によって量子の状態を記述し陽子の存在を予言した（Dirac, 1930）。小林・益川も同様に「CKM 行列」と呼ばれるクォークの状態方程式を導き、理論上、6種類以上のクォークが存在することを予言した（Kobayashi and Masukawa, 1973）。この仮説は、20年以上をかけて巨大で巨額な加速装置による実験結果によって次々とクォークが発見されることで検証され、2008年にノーベル賞受賞の対象となったことは、われわれの記憶に新しい。

「数学アート」も実は無限の可能性を含んでいる。第一に立体図形を表現するために、何も「二次関数」に限定する必要はない。先に紹介した製品「COMMET」は、同じような2次と3次関数の組み合わせでは「空飛ぶ絨毯（じゅうたん）」のような形状になる。3次関数では「座椅子」のような構造、これをもう一段進め、4次関数で表現すれば尖りがなくなり「風呂椅子」、また3次と4次関数の組み合わせでは「幌」のような形状となる（図8）。数学的には累乗の組み合わせによって循環するような規則

11) 「数学を楽しむ」ことについて、大橋とも交流のある経済学者（元神奈川大学教授・中小企業論）大林（2011）は、「ゲームとして楽しむ」「サイエンスとして楽しむ」「アートとして楽しむ」の3つを挙げている。大林は「数楽アート」が旧来あった「数学模型」を精密な金属加工製品として実現し、知的な楽しみを可能にしている点で高く評価している。

12) 知性を刺激する製品としては、任天堂 DS 用の「脳トレ」ゲームや、ルービック・キューブ、算数ゲーム（例えば ALGO）などあるが、数式式そのものを製品にしたものは見当たらない。

性も隠されているのだが、どうしてこのような構造が出来上がるのかを解説した「能書き」を添付し、高次関数の展開の面白さを強調することにより、さらに数学的興味を引き出す製品のラインナップを作り出すことも可能であろう。

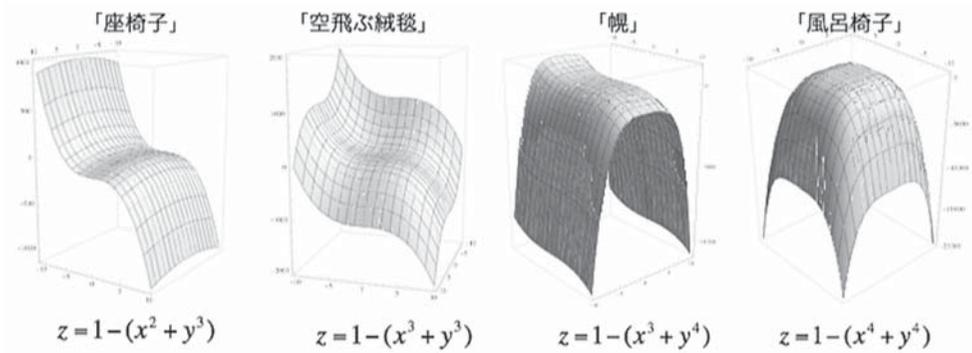


図8 「COMMET」の高次関数展開による立体図形
注) MATHEMATICA 9.0 による描画

第二に、金属加工した「立体」を小ロット生産で高額で売り続ける必要はない。現在のところ、まだこの企業も試みていないこのような製品の開発のノウハウを「実物」として製品化することのメリットは、まだまだ大きいであろうが、高度な3Dプリンターが普及してくる近い将来においては、製品製作時のNC工作数値を「データ」として蓄積していくメリットが出てくるであろう。つまり、複雑な式を組み合わせる立体図形を設計する段階にとどめ、その際に使った式を公開せず、それを表現する数値だけをデータ・ベース化し、3Dプリンターのための「データ」として資産化することが重要となってくるだろう。¹³⁾ その場合、最低1個はリアルに生産しておき、また注文生産で実物でも販売することも考えられる。

米国は製造業の復活のために3Dプリンター全面的に利用することを国家的な目標に掲げている。¹⁴⁾ 現在のところ、3Dプリンターで作られる「製品」は大田や東大阪の「匠の技」の足元にも及ばない水準にあると言えようが、機械の急速進歩の恐るべきスピードを考えれば、いつかはそれを脅かすレベルに達してくるであろう。

13) 現在でもそのようなデータの販売がネット上で行われている。例えば、<http://sketchup.google.com/3dwarehouse/>

14) 2013年2月12日の一般教書演説で“Last year, we created our first manufacturing innovation institute in Youngstown, Ohio. A once-shuttered warehouse is now a state-of-the-art lab where new workers are mastering the 3D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost everything. There’s no reason this can’t happen in other towns. So tonight, I’m announcing the launch of three more of these manufacturing hubs, where businesses will partner with the Departments of Defense and Energy to turn regions left behind by globalization into global centers of high-tech jobs. And I ask this Congress to help create a network of fifteen of these hubs and guarantee that the next revolution in manufacturing is Made in America.”と強調された。

極めて近い将来と思われる、そのような時のために備え、中小企業者はいまから高度な製品の作成データを蓄積しておく必要がある。これは廃れていくかもしれない伝統の技を継承するという発想からではなく、「匠のモノづくりデータ」そのものを知的資産化させるという攻めの発想で「製造業の情報産業化」を進めるといふことにほかならない。

第三に、すでに「波紋」という製品で使われているように、三角関数は波動関数のモデル化として使われるので、三角関数を「音」としても表現し、視覚だけでなく、聴覚にも訴えかける「ミュージック・アート作品」に進化させる方向も考えられる。これは、数学とアートが「音」として融合する野心的な試みとなるであろう。¹⁵⁾ この場合、二次の三角関数の組み合わせで生成された波動をサンプリングし、陳列ケースに取り付けた小型スピーカーから立体のイメージに合った音楽を流すような工夫も考えられる。

第四に、販売方法として「コレクター・アイテム・シリーズ」をセット価格で販売したり、やや高い価格の設定を工夫することで売上げ増をはかれる可能性がある。

例えば、周波数解析の手法の一つであるウェーブレット変換の手法を使えば、「ソンプレロ」のような図形が作れるので、(図9)。これと、先の「鞍」と図8の「幌」を組み合わせると「西部開拓」のようなセット販売も企画できよう。

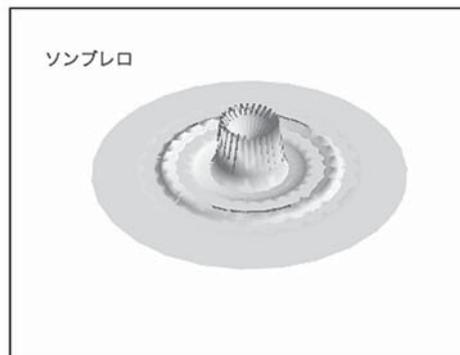


図9 MATHEMATICAでウェーブレット変換により作成した「ソンプレロ」
出所) <http://demonstrations.wolfram.com/>

要約すれば、「数楽アート」は「匠の金属加工技術によって数学関数の立体化を実現し、人々のインスピレーションと知的興味を掻き立てる」という紛れもないDDIである。しかも通常のタイプではなく、デザインの過程において「数学」という高度な言語が最大限活用されているという意味で、より高度レベル言語での意味の創出を伴った「高次元DDI」として今後の日本企業、特に中小企業

15) 実は大橋製作所は、「数楽アート」を抜き取った後の廃材を使って音楽を奏でるといふプロジェクトを試み、町工場の町、大田区でアートを広げる活動しているクリエイティブ集団「AOIHOSHI」による「数楽」と「音楽」とのコラボを実現している。このコラボではピアノとベース以外はすべてステンレスで音色を表現している。大橋製作所の「数楽アート」のHPにはそのときの動画も掲載されている。(<http://sugakuart.com/music.html>)

が学ぶべきモデルを提供していると言えよう（図10）。「言語」の種類も豊富であるということは、それだけ意味的世界が広がるということである。そのことによって「より深く、広い範囲に渡って」尽きることない感動や興味が生み出されるのである。

その際われわれが忘れてはならないのは、「数楽アート」を取り巻く技術生産者としての職人、大田区の同業者や部品供給業者と、生産者でもあり文化的解釈者でもある数学者、大学、研究機関、文化的生産者としての経済学者、数学会、出版社、テレビ局、新聞メディア、数学系の雑誌メディア、芸術家、マルチ・タレント、コピーライターなどのアクターの織りなす社会ネットワークであろう。¹⁶⁾ これらのヴァラエティーに富んだ文化的解釈者が関与していなければ、そもそも「数楽アート」の「鳴りを潜めた意味」が「新しい意味」として発見されることはなかったであろう。彼らは単なる製品の宣伝者や広告者というよりも、「文化的な意味のクリエイター」として決定的に重要な役割を果たしているのである。

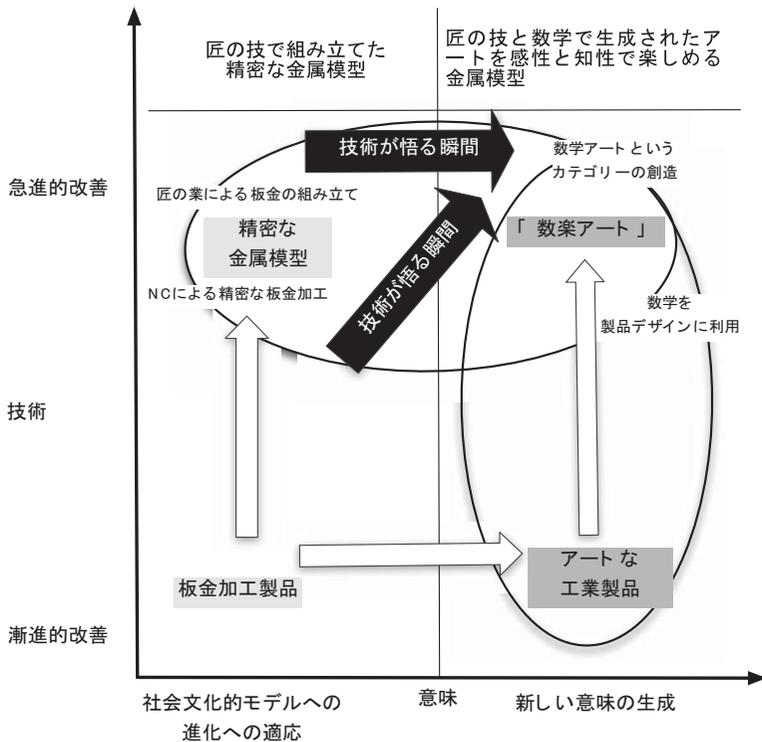


図10 高次元なDDIとしての「数楽アート」

16) 大橋正義社長とのインタビューでは、製品開発の裏話として、あるコピーライターとの交流が語られている。実際、製品のコピーとして「この美しさ、解けますか？」という優れたコピーが採用されている。

4 結語：京都企業へのインプリケーション

ここまで産業集積地である東京・大田区に位置する企業の「数楽アート」を高次元 DDI として考察し、それが創出したラディカルな意味的革新について考察してきた。最後に京都の大学で教える研究者（文化的解釈者でもある）として「数楽アート」が京都企業に対して有するインプリケーションについて論じてみたい。

京都は言うまでもなく 1200 年の都として日本文化の粹、最良の伝統技術を凝縮した、世界に冠たる学術・工芸・文化都市である。京都には数多くの大学が存在し、10 万を超える学生・院生が居住するだけでなく、ノーベル賞やフィールズ賞を受賞した数多くの優れた科学研究者や大学教授、教育関係者、芸術家、作家、映画監督などの文化人や工芸家、職人が活躍している。これに加え業界トップである様々な業種の優良企業も本社を構えており、さらに外国からの訪問者も多い。まさに新しい意味を創出し、その意味を解釈しうる個人や団体の潜在的に強力な社会ネットワークが「スモールワールド」状態で存在あるいは、存在しうる希有な都市と言える。¹⁷⁾ この意味では京都は、同じ規模の人口のミラノ＝ロンバルディア・デザイン・クラスターにひけをとらない DDI の潜在的宝庫であり、DDI の「溢れる源泉」ともなりうる創造的都市 (Florida, 2008) である。¹⁸⁾

知恵産業を標榜する京都企業が、ひとたび「数学」や「アート」の大きな可能性に開眼し、感性と同時に知性に訴えかける高次元の DDI に成功する可能性は極めて高いと言える。¹⁹⁾ そのための鍵となるのは、産業技術研究所やインキュベーション施設によって大学や企業の技術シーズを互いに結びつけるだけの単純な産学協働ではなく、意味の解釈を媒介するような多様な「文化的アクター＝文」を巻き込んだ「産学文」間のコミュニティ・デザイン（人的交流の促進）であろう。そのような場において京都の技術シーズを彫琢し、様々な文化人や芸術家、人文社会研究者（経営学者、社会学者、人類学者）、大学院生などを巻き込んで、アートとサイエンスをコラボさせるようなネットワークを形成・発展させることが枢要である。

その際に目先の利益ではなく、大目的を達成することをめざし、目的工学（紺野，2013）によって地道に事業を展開することが重要である。また同時に「産学文」間のコラボを誘発する上で、本大学でも設置が検討されている「フューチャーセンター」の果たす役割は今後ますます大きくなっ

17) 「スモールワールド」とは大きなクラスター係数（局所凝集性）と小さな平均パス長（ネットワークの平均距離＝他のアクターに到達できる平均ステップ数）で特徴付けられるコンパクトなネットワーク状態のことである (Watts, 1999)。京都産業クラスターの特徴は、他に較べ平均パス長が 3.4 と短いことである。(坂田ら, 2005)。

18) 唯一弱いのがメディアであるが、京都新聞＝KBS はもとより、東京に次ぐ数を誇る出版社、新放送会館を建設中の NHK 京都放送局の果たすべき役割は大きい。京都市が目指している「文化庁の京都移転」が実現すれば、大きなモメンタムを与えることになろう。出版社、学生、学者の多さに対応して数多く存在する大垣書店、ジュンク堂、来年復活する丸善などの大型書店は重要なアクターとなり得よう。

19) Verganti (2009) が DDI の代表例として頻繁に取り上げている任天堂が京都の企業であるのは偶然ではないと言うべきであろう。

てくると思われる。²⁰⁾

謝辞

この論文の作成にあたって大橋製作所社長の大橋正義氏には長時間のインタビューや資料の提供などで大変お世話になった。ここに厚く感謝の念を表明したい。また老体に鞭を打ちながら未だ現役で中小企業関係雑誌を編集している我が父、金光 奎（東京中小企業問題研究所）には長年の友人である大橋正義氏の紹介の労を取ってもらった。改めてここに感謝したい。

最後にインタビューに同行し、テープ起こしを手伝い、さまざまな議論や新たな商品アイデアを提出してくれたゼミ生（3回生）には感謝したい。

参考文献

Brunner, R, S, Emery, R, Hall, (2008) *Do You Matter?: How Great Design Will Make People Love Your Company*. (長尾高弘訳『企業戦略としてのデザイン—アップルはいかにして顧客の心をつかんだか』アスキー・メディアワークス, 2009年)

Dircac, P. (1930) *The Principles of Quantum Mechanics, Oxford University Press*. (仁科芳雄等訳『量子力学』岩波書店, 1936年)

Florida, R. (2008) *Who's Your City?: How the Creative Economy Is Making Where to Live the Most Important Decision of Your Life*, Basic Books. (井口典夫訳『クリエイティブ都市論—創造性は居心地のよい場所を求める』ダイヤモンド社, 2009年)

Granovetter, M. (1985) "Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness.". *American Journal of Sociology* 91 (3): 481–510.

石田恭嗣 (2005) 『数学の隠された能力—デザインの数理学』数研出版.

Kobayashi, M. and T, Masukawa. (1973) "CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction". *Progress of Theoretical Physics* (Kyoto: Yukawa Institute for Theoretical Physics) 49 (2) : pp. 652—657.

紺野 登 (2008) 『知識デザイン企業』日本経済新聞出版会.

紺野 登+目的工学研究所 (2013) 『利益や売上げばかり考える人は、なぜ失敗してしまうのか』ダイヤモンド社.

Latour, 1991, *Nous n'avons jamais été modernes : Essai d'anthropologie symétrique*, Paris, La Découverte. (英訳) *We have never been modern*, Harvard University Press, Cambridge Mass., USA, 1993.

(川村久美子訳『虚構の「近代」-科学人類学は警告する』新評論. 2008年)

MATHEMATICA 9.0. (2012) Wolfram Research, Inc. Champaign, IL, USA.

宮尾学 (2013) 第3章「技術の社会的形成」『組織論レビュー II』白桃書房.

文部科学省科学技術政策研究所編著 (2007) 『数学イノベーション』工業調査会.

20) 「フューチャーセンター」については紺野 (2008) がイノベーションを継続的に起こす「アート・カンパニー」の重要性を強調しながらオランダの例を紹介している。

- 日経デザイン (2012) 『アップルのデザイン—ジョブズは“究極”をどう生み出したのか』日経 BP 社.
- 延岡健太郎 (2011) 『価値づくり経営の論理—日本製造業の生きる道』日本経済新聞出版会,
- 大林弘道 (2011) 「新たな製品概念への試み—『数楽アート』の考察—」商経論叢 (神奈川大学), 47 (2), pp.103-119.
- 坂田一郎、柴田尚樹、小島拓也、梶川裕矢、松島克守「地域経済圏の成長にとって最適な地域ネットワークとは—スモールワールド・ネットワークの視点による4地域クラスターの比較分析—」『一橋ビジネスレビュー』vol. 53 (3), pp.182-195.
- Utterback, James. M. et. al. (2006) *Design-Inspired Innovation*. World Scientific Publishing. (『デザイン・インスパイアード・イノベーション—顧客に喜びを与え、簡素と品位を強調し、意味を創造する』ファーストプレス, 2008年)
- Verganti, R. (2006) “Innovating Through Design.” *Harvard Business Review*. 2006, Dec.
- Verganti, R. (2009) *Design-Driven Innovation: Changing the Rules of Competition by Radically Innovating What Things Mean*. Harvard University Press. (佐藤典司監訳『デザイン・ドリブン・イノベーション』同文館, 2013年)
- Watts, D. J. (1999) “Networks, Dynamics and the Small-World Phenomenon.” *American Journal of Sociology* 105, pp.493-527.

“Sugaku Art” as High-Dimensional Design-Driven Innovation: An Implication for Kyoto Companies

Jun KANAMITSU

ABSTRACT

We investigated how a small manufacturing company active in Ota Industrial District, Tokyo, succeeded in designing and creating “Sugaku Art,” mathematics-driven products. Approached from the so-called “Design-Driven Innovation” perspective,” proposed by Verganti (2009), we conclude that those products enable customers to enjoy mathematical art products not only with five senses but also with mathematical logic or intelligence. We demonstrated that such newly created values are no less remarkable than those of iPad, which has revolutionized our digital life. We drew an implication for Kyoto companies that are targeting at knowledge-creating management.