

<論文>

日本のゲーム産業における3D表現の展開について —技術革新とゲームコンテンツの転換—

近藤 光

要旨

現在、業務用・家庭用を問わずビデオゲームにおいて一般的に利用されているCGを用いた3D表現はいかに普及していったのか。そして、技術革新がビデオゲームを巡る競争にどのような影響を与えたのか、ナムコ、ソニー、セガ、任天堂の企業行動に着目しながら明らかにすることが本稿の目的である。

本稿では、戦後から1970年代までのCG技術の発展とコンピュータゲームへの応用について整理し、その後、1980年代から始まるアーケードゲームにおける3D表現の展開を明らかにする。更に、そうしたアーケードゲームの展開を受けて、家庭用ゲームにおいて3D表現が導入されていく過程を三つの企業グループの活動から明らかにする。最後に、日本のゲーム産業におけるCG技術導入の特徴について言及する。

キーワード

ゲーム産業、アーケードゲーム、家庭用ゲーム、3DCG、共進化、技術開発

はじめに

日本のマンガ、アニメ、ゲームといったコンテンツ産業に対する注目は、いまだ衰えていない。しかし、こうしたコンテンツ産業においても様々な新技術が導入され、大きく変化しながら現在に至っている。その中でも、3D表現（技術）は、商品それ自体だけでなく、企業間関係や産業構造などに大きな影響を与えた重要な技術の一つである。しかし、同表現技法や技術は、アニメやゲームといった各領域において、一様に導入され、普及していったわけでない。日本においては、他国とは異なり、ゲーム産業から徐々に浸透していった。本稿

の目的は、日本のゲーム産業における3D表現の導入に大きな影響を与えたナムコ、ソニー、セガ、任天堂の企業行動に着目しながら、産業全体での技術革新の普及過程を明らかにすることである。

後述するが、日本のゲーム市場において3D表現が最初に導入されたのはアーケードゲームであった。特にレースゲームやシューティングゲームといったジャンルで、よりリアリティを出す手段として3D表現が模索された。当初は2Dの画像を拡大縮小させるなどの工夫で擬似的に3D表現を行っていたが、その後、ポリゴン¹を用いたゲームが発表された。当時、3DCG利用するには性能面で制約も多く、高性能なアーケード用の基板によって実現されていた。

その状況が大きく変わったのが、セガによるセガサターン（以下、SS）、ソニー²によるプレイステーション（以下、PS）の発売であった。家庭用ゲーム機市場に参入したソニーは3D機能を重視することでライバル企業との差別化を図ろうとした。開発当初は、3DCGを利用したゲームは主流ではなかったが、発売時点ではアーケードで3Dゲームがヒットしており、これらのタイトルが家庭で楽しめるという点が大きく評価されたと考えられる。

その後、3Dゲームは家庭用ゲーム機を中心に発展を遂げる。家庭用ゲーム機では3D表現を多用したソフトが多数発売され、3D処理能力（特にポリゴン処理能力）はゲーム機の性能を示す指標ともなっていくた。この「ソフト主導のハード開発体制への転換（砂川, 1998, p.13）」は、日本のゲーム産業に様々な変化を生み出した。新たなアーケードゲームも家庭用ゲームへの移植、互換性を重視したものが多くなり、両者の性能差は小さくなっていった。

2000年以降、家庭用ゲーム機に加えて、PCもグラフィック性能を向上させる一方、アーケード機の性能向上は鈍化していった。この過程の中で、アーケード、家庭用ゲーム、そしてPC向けゲームは、それぞれ異なる発展を遂げてい

¹ ここでは、主に3DCGにおいて立体を表現する際に用いられる多角形のことを指す。

² 当時のソニー・コンピュータエンタテインメント（SCEI）のこと。2016年に組織再編が行われ、現在はソニー・インタラクティブエンタテインメント（SIE）となっている。

る。現在、ビデオゲームにはアーケード、家庭用、PC、スマートフォンなど様々な市場が存在しているが、各市場での3DCGの導入は異なりながらも相互に関連しあいながら進化している。

以下では、まず戦後から1970年代までのCG技術の発展とコンピュータゲームへの応用を概観する。その後、1980年代から始まるアーケードゲームにおける3D表現の展開について、その中心であったナムコとセガの技術開発から検討する。そして、そうしたアーケードゲームの展開を受けて、家庭用ゲームにおいて3D表現が導入されていく過程を、ソニー、セガ、任天堂という異なった三つの企業グループの企業行動の違いから明らかにする。最後に、日本のゲーム産業におけるCG技術の導入の特徴について考えてみたい。

1. CG技術の開発とゲームへの応用

先端技術としてのCG技術：1950年代～1970年代まで

各メディアで3DCG (Computer Graphics³) が活用されるのは1970年代以降と考えられる。ゲームでは1970年代から、アニメや映画では1980年代⁴から利用が広がった。

現在の3DCGにつながる研究は1950年代から行われている。一つはアート分野であり、もう一つは産業および軍事分野 (SAGEプロジェクトなど) であった⁵。1950年代には Ben Laposky らによってオシロスコープを用いたCG制作が行われている。その後、アニメーターの John Whitney Sr. が

³ CGには2Dと3Dがあるがここでは3Dを中心的に扱う。なお、ゲームの世界ではCGゲームという言葉はポリゴンを用いた3Dグラフィックによるゲームを指して用いられることが多い。

⁴ 2DCGであれば、1958年にモーション・コントロールカメラによるCGアニメーションが映画Vertigoで使われている。John Whitney Sr.が作成。

⁵ 初めてComputer Graphicsという言葉を用いたのはボーイング社のエンジニアであったWilliam Fetterで1960年だったといわれている。V&A,「Human Figure」(<https://collections.vam.ac.uk/item/O1321915/human-figure-print-william-fetter/>) 2021年3月30日アクセス。

1958年にモーショントラッキング・コントロールカメラを開発、Motion Graphics社を1960年に設立した⁶。

1963年のIvan Sutherland⁷によるSketchpad Systemがアメリカ国防省の支援もあり実用化され、CADとCG作成の基礎を作った⁸。これが実質的な3DCGのスタートといえる。その後、Sutherlandはユタ大学に移り、1968年から1974年まで教授として在籍。多くの研究者とともに3DCG技術の発展に寄与した。この間、Alan Kay, Edwin Catmull（ピクサー創業者の一人）、James BlinnなどがSutherlandに師事している。また、ユタ大学を中心とする3DCG技術の研究グループには、James Clark⁹も参加した。こうして、1960年代後半から1970年代の間に、現在のリアルタイム画像生成の基礎が作られた（大村，2004）。

Sutherlandは1968年にEvans & Sutherland社を設立した。同社には、後のアドビシステムズの創業者John Warnock、シリコングラフィックスの創業者James Clarkが勤務していた。スタンフォード大学で教鞭をとっていたJames Clarkが1979年にジオメトリ計算を実行するためのチップ、Geometry Engineを開発、商用化のため同大学を退職し1982年にSGIを創業している。

⁶ Motion Graphics社はアルコアやクライスラーなどのCMの他、多くのテレビ、映画のタイトルなどを作成した（大村，2009）。

⁷ Sutherlandの指導教員は情報理論で高名なClaude Shannonである。Mathematics Genealogy Project「Claude Elwood Shannon」（<https://www.genealogy.math.ndsu.nodak.edu/id.php?id=42920&fChrono=1>）2021年2月8日アクセス。

⁸ ただし、スケッチパッドに先駆けて1959年にGMとIBMがDAC-1というCAD用のコンピュータを開発している（Krull, 1994）。製図・設計のためのグラフィック処理が必要とされており、GMのような自動車メーカーのほか、軍事・航空関連会社もそれぞれ独自に研究・開発をしていたと推察される。

⁹ 当時はニューヨーク工科大学、後にカリフォルニア大学。

CG技術の社会的普及：1980年代以降

1980年代に入ると、CGを作成する環境が整い始める。1984年、シリコングラフィックスが3DCG作成のためのグラフィック・ワークステーション「IRIS 1400¹⁰」を発売。さらに翌年、IRIS 2400を発表するなど、CG作成のための環境が充実していく。1988年頃にはグラフィック作成用のワークステーションがいくつか発売され市場を形成していたが、SGI社のシェアは非常に高かった¹¹。SGIはグラフィック処理のためのプログラミング・インターフェース「グラフィック・ライブラリ (GL)」を開発、後にオープン化され「OpenGL」として現在も使われている。

1980年代にはゲーム、映画など様々な分野でCG(3DCG)が利用されていく。1982年、本格的にCGを利用した映画としてディズニーよる「Tron」、ピクサーによる「アンドレとウォーリーB.の冒険」(1984年)、「ティン・トイ」(1988年)などCGによるアニメーションが登場。1990年代に入ると、様々なメディアでCGの利用が進んだ。PCの普及に合わせて、PC上で3Dを処理するというニーズが増大した。これがグラフィックボード(GPU)競争につながり、ゲーム産業に大きな影響を与えることにもなった。2000年以降から現在まで、3DCGは一般的な技術として浸透し、広く利用されるようになっていく。

コンピュータ・ゲームにおける展開

コンピュータによるゲームの歴史は1947年に発表された陰極線管娯楽装置(Cathode-ray tube amusement device)に遡ることができるが¹²、一般的に

¹⁰ IRIS 1400のCPUはMotorola 68000で8MHz動作。大原雄介(2017)「CG業界を牽引したSGI」(<https://ascii.jp/elem/000/001/573/1573125/>) 2021年3月20日アクセス。

¹¹ グラフィック・ワークステーション市場のおおむね半分をSGIはおさえていた。大原雄介(2017)「CG業界を牽引したSGI」(<https://ascii.jp/elem/000/001/573/1573125/>) 2021年3月20日アクセス。

¹² 翌年1948年に米国特許を取得している。Goldsmith Jr., Thomas T. & Mann, Estle

は1962年の「Spacewar!」が最初のコンピュータゲームとして知られている。1960年代、現在の様な家庭用ゲーム機は誕生しておらず、ビデオゲームはコンピュータ向けが中心であった¹³。3D表現を採用したゲームとしては1973年の「Maze War」と「Spasim」が先駆的である¹⁴。当時はコンピュータを操作できる人間に限られており、ビデオゲームは産業として市場を形成するようなものではなかった。しかし、その後のアーケードゲームに大きな影響を与えた。

1970年代に入るとアーケードゲーム機がゲーム市場を形成していく。ノーラン・ブッシュネルは1972年にアタリ社を創業し、「PONG」を発売し成功を取めている¹⁵。アーケードゲーム市場で成功を取めた同社は、1977年にVCS (ATARI 2600) を発売し家庭用ゲーム機にも参入した¹⁶。

日本のゲーム会社は1970年代後半からアーケードゲームで有力なタイトルを発売し始め、任天堂のファミリーコンピュータ (1983年発売, アメリカではNESとして1985年発売)、セガのメガドライブ (1988年発売, アメリカでは1989年発売)の成功もあり、1980年代から家庭用ゲーム市場でソフトとハード面で有力な存在となった。

Ray, “Cathode Ray Tube Amusement Device”, issued 1948-12-14)。

¹³ 世界初の家庭用ゲーム機といわれるマグナボックス社のOdysseyは1972年に発売された (近藤, 2017)。

¹⁴ 当時の正確な記録が残っていないこともあり、Maze Warは1973年とするものもあれば、1974年とするものもある。詳しくは次の資料を参照。Digibarn Computer Museum, 「The DigiBarn’s Maze War 30 Year Retrospective “The First First Person Shooter” Was held at the Vintage Computer Festival」 (<https://digibarn.com/history/04-VCF7-MazeWar/>) 2021年3月20日アクセス。

¹⁵ ブッシュネルはアタリ社創業前に「Spacewar!」をアレンジした「Computer Space」でアーケード市場に参入したが、商業的には失敗している。

¹⁶ 1972年に世界初家庭用ゲーム機ODYSSEYがマグナボックス社から発売されるも商業的には失敗。ODYSSEYはカードを挿し替える事によってプレイできるゲームが切り替わるなど後の家庭用ゲーム機の特徴を備えていたが、TVにつないでプレイできるが表示できるのは光の点のみであった。

アーケードであれ、家庭用ゲームであれ、ユーザーに製品を選んで（遊んで）もらうためには差異化が必要である。限られた性能のなかで、いかにリアルな表現をするかは、ゲームそのものの面白さにも関わる重要な要素であったと考えられる。3D視点のゲームは1980年代から普及し始めたが、それを主導したのは、当初はアーケードゲーム、後に家庭用ゲーム機であった。初期は擬似的な3D表現が限界だったが、90年代からはポリゴンを用いた本格的な3DCGへと発展を遂げる。両市場で大きな地位を獲得していた日本のゲーム会社は、アーケード、家庭用ゲーム機の双方で大きな役割を果たすことになった。

2. アーケードゲームにおける3DCG技術の導入過程

ビデオゲームのプラットフォームは、アーケード、家庭用ゲーム、PCゲームが存在し、1990年代後半からモバイル（携帯端末）がこれに加わる。

先述したように、汎用的なコンピュータ¹⁷上で動作するゲームはビデオゲームとしての歴史は最も古いですが、中心的な存在ではなかった。例えば、日本においてPCが普及するのは2000年頃（消費動向調査によると2001年に世帯保有率が50%を超えた）であり、PCが必ずしもゲーム利用を前提としていないことから考えても、ゲーム市場としては限定的だったためである。結果として、長い間、日本のゲーム市場はアーケードと家庭用ゲーム機を中心に展開された。

初期の3Dゲーム（～1980年代後半まで）

アーケードゲームにおいて最も初期に3D表現が採用されたゲームはAtariによる「BATTLE ZONE（バトルゾーン）」（1980年）であった。同タイトルはベクタースキャン方式を採用した一人称視点で展開されるシューティングゲームであり、最初に成功を収めた3Dゲームともいわれる¹⁸。た

¹⁷ 専用機であっても、ゲームを主目的としないコンピュータを含む。

¹⁸ TechRadar Webpage, “The evolution of 3D games” (<https://www.techradar.com/news/gaming/the-evolution-of-3-D-games-700995>) 2021年3月19日アクセス。

だし、ベクタースキャン方式は点と線の描画に限定されるため、単純な図形表示が中心となる。「バトルゾーン」はワイヤーフレームで表現されたゲーム画面となっている。厳密には3次元座標を持たず（計算せず）、あくまで疑似的な3D表現であった。同社は1983年に2つの3Dゲームを発表している。ひとつが「スター・ウォーズ」であり、これは「バトルゾーン」と同様にベクタースキャンによる3D視点のシューティングゲームであった。そしてもう一つがリアルタイム描画の3Dゲーム「I, Robot¹⁹」である。前者は商業的に成功を取めたが、後者は専用の基板を用いてポリゴンを利用した世界初の3Dゲームだったにもかかわらず、商業的に成功することはなかった²⁰。

日本のアーケードゲーム市場においてセガとナムコは中心的な役割を果たしてきた。両社はそれぞれゲームセンターを運営しながら、独自にゲームを開発しており、3Dゲームの発展に大きく寄与してきたといえる。そもそもゲームを3Dとして表現することは、よりリアルなゲームを実現するための工夫である。アーケードゲームで重要なことは、数あるゲームの中で、どれだけ多くの利益をあげられるかである。経営的に言い換えればいかに差異化を実現するかであり、その手法として3D表現が活用されてきたといえる。アーケードに設置されているビデオゲームの多くはシミュレーションされたゲームであり、そのために3D表現に向いているレースゲームが主流になったと考えられる。

セガは1982年に2つの3Dゲームを発表している。一つが立体視を用いて松下電器と共同開発した「サブロック3D」で、ゲーム史上初の立体的映像によるビデオゲームとされている²¹。もう一つがシューティングゲームである「ZOOM909」であり、同ゲームは1985年の「スペースハリアー」に大きな影響を与えた。一方、ナムコも1982年に3Dレースゲームである「ボール

¹⁹ 世界初のポリゴン使用のゲームである。松浦ら（2020），pp.372-373。

²⁰ 世界で1000台ほどしか出荷されなかった（赤木，2005，p.477）。

²¹ ファミ通DC編集部（2002），p.45。

ポジション」を発表、基板はナムコ独自のものであった。ボールポジションは大きな成功を収め²²、その後のレースゲームに大きな影響を与えた。

これらの3Dゲームは主にスプライト・スケーリング (Sprite Scaling) という手法 (スプライト²³の拡大縮小によって3Dを表現) が利用されており、近年のポリゴンによる3Dゲームとは異なる。以降、本稿では前者を「疑似3D (ゲーム)」、後者を「3D (ゲーム)」もしくは「CG (ゲーム)」と区別する。

ナムコによる3DCGゲームの展開

ボールポジションで大きな成功を収めたナムコは1988年にポリゴンを用いたリアルタイム3Dゲーム、「ウイニングラン」を発表する。

ハードの設計に関わった石村繁²⁴は「世の中のレジャーが段々と多様化していく中で、従来の電子アニメ的なゲームを作ってもしょうがない… (中略) ……会社の開発方針を3Dグラフィクスによるコンテンツに移行しよう²⁵」としたと述べている。

そこで、レースゲームの3D化を目指し、同社が開発したのが「ウイニングラン」だった。このゲームは独自に開発されたシステム基板、SYSTEM21 (通称ポリゴナイザー) 上で動作するものであったが、開発に

²² アップライト型のゲーム機のなかで第2位という高い評価 (東京と大阪のゲームセンターを中心とする対象店舗における売り上げと人気度によって評価したもの) を受けている。ちなみに第1位はセガによるアストロン・ベルト (1983年発表) であった。アミューズメント通信社、『ゲームマシン』, no.213, 1983年6月1日, 29面 (<https://onitama.tv/gamemachine/pdf/19830601p.pdf>)。2021年3月15日アクセス。

²³ スプライトとは画面上のキャラクター (グラフィック) をハードウェア上で合成するための技術のこと。

²⁴ 石村は1975年にナムコに入社した後、主にハードウェアの設計に関わってきた人物であり、2005年にはナムコの代表取締役社長も務めた。

²⁵ 4Gamer.net 「ビデオゲームの語り部たち：第4部」(<https://www.4gamer.net/games/999/G999905/20180313040/>)、2021年3月15日アクセス。

時間を要したため2D(疑似3D)のレースゲームである「ファイナルラップ」が1987年に先行して発売された。「ウイニングラン」が完成したのはその2年後である。

1988年には日本のCG専門会社であるJCGL(ジャパン・コンピュータ・グラフィックス・ラボ)と提携(後にナムコがJCGLを吸収)するなど、同時期からナムコは3D技術の獲得に積極的であった。更に、1992年にはSYSTEM22を開発、ポリゴンとテクスチャマッピングを利用した、より優れた3D表現を可能にした。同基板(及び改良版のSYSTEM22 SUPER)では多くのタイトルが発表された。中でも1993年の「リッジレーサー」は成功を取めた。このように、ナムコはアーケードゲーム向けの基板を独自に設計することで3Dゲーム市場をリードしたが、SYSTEM23とSYSTEM SUPER23(1997年)を最後に独自開発という路線を修正している。

図表1はナムコの主なアーケード向けシステム基板²⁶をその発売年で並べたものである。後述のセガに比べるとCPUの16ビット化、32ビット化などは多少遅いように見える。

その後、ナムコは独自開発ではなく、ソニーのPSのアーキテクチャを取り入れた互換基板によって、低コスト化を目指していく。これがSYSTEM11(1994年)であった。メイン基板(CPU、GPUなど)はソニーによるもので、ナムコがI/O周りをアレンジした。SYSTEM11はナムコが独自開発したSYSTEM22より性能面で劣っていたが、次第に家庭用ゲーム機の性能は向上していった。ナムコはこの互換基板路線を継続し、PS2互換のSYSTEM246(2000年)、SYSTEM256(2005年)やPS3互換のSYSTEM357(2007年)、SYSTEM369(2011年)などを開発していった。

²⁶ アーケードゲームでは、かつてはゲームごとに専用の基板を用いていたが、1980年代から、共通して使用する基板(マザーボードともいう)と、ゲームプログラムが内蔵されたROMを分ける仕組みが普及した。これによって、ゲーム作成の都度、一から設計することなく既存の基板を利用し効率化・低コスト化につながった。

日本のゲーム産業における3D表現の展開について 近藤

図表1 ナムコの主なアーケード基板

開発年	名称	アーキテクチャ	メインCPU	CPUビット数	サブCPU/チップ	CG用チップ	3Dハード対応*
1986	SYSTEM 86	アーケード独自	MC6809	8ビット	MC6809, HD63705		なし
1987	SYSTEM I	アーケード独自	MC6809*2個	8ビット	MC6809		なし
1988	SYSTEM II	アーケード独自	MC6809(12.288MHz)*2個	8ビット	MC6809		なし
1989	SYSTEM21 (ポリゴナイザー)	アーケード独自	MC6800P12(12MHz)*2個	16ビット	MC6809	Texas Instruments TMS320C25*4個	あり
1992	NA-1/NA-2	アーケード独自	MC6800(12.5MHz)	16ビット	Namco C59(M37702 based)		なし
1992	SYSTEM22	アーケード独自	MC68020(24.576MHz)	32ビット	Namco C74 (M37702 based 16-bit)*2個	Texas Instruments TMS320C25*2個	あり
1993	NB-1/NB-2	アーケード独自	MC68020(24.192MHz)	32ビット	Namco C75 (M37702 based, 16.128 MHz)		なし
1993	SYSTEM FL	アーケード独自	Intel i960-KB 32-bit RISC(20 MHz)	32ビット	Namco C75 (M37702 based, 16.384 MHz)		なし
1994	SYSTEM11	家庭用ゲーム機ベース	R3000A(33.8688MHz)	32ビット	Namco C76 (M37702)	GTE(PSと同等)	あり
1995	SYSTEM SUPER22	アーケード独自	MC68020(24.576MHz)	32ビット	Mitsubishi M37710	Texas Instruments TMS320C25*2個	あり
1995	ND-1	アーケード独自	MC68000(12MHz)	32ビット	HD6413002F16		なし
1997	SYSTEM12	家庭用ゲーム機ベース	R3000A(48MHz)	32ビット	Hitachi H8 3002	GTE(PSと同等)	あり
1997	SYSTEM23/SYSTEM SUPER23	アーケード独自	R4650(166MHz)	32ビット	H8/3002	Namco Custom Texture Mapped Polygons Hardware	あり
2000	SYSTEM10	家庭用ゲーム機ベース	R3000A	32ビット	SPU	GTE(PSと同等)	あり
2000	SYSTEM245/256/Super 256	家庭用ゲーム機ベース	Emotion Engine	64ビット	SPU2	Graphics Synthesizer(PS2と同等)	あり
2002	Triforce	家庭用ゲーム機ベース	IBM Power PC "Gecko"	32ビット	Custom Macronix 16bit DSP	"Flipper" (Custom ATI/Nintendo)	あり
2005	N2	PCベース	AMD K7 Mobile Athlon XP 2800+ (2.13GHz)	32ビット		NVIDIA GeForce 4 Series / GeForce 7600 GS AGP with 256/512MB GDDR2 memory	あり
2007	SYSTEM357/369	家庭用ゲーム機ベース	Cell	64ビット		RSX(NVIDIAベース, PS3と同等)	あり
2009	SYSTEM ES1	PCベース	Intel Core 2 Duo E8400 (3.00 GHz)	64ビット		NVIDIA GeForce 9600 GT PCIe 2.0 x16 (512 MB GDDR3メモリ搭載)	あり
2012	SYSTEM ES2 PLUS	PCベース	Intel Core 2 Duo E8400 (3.00 GHz)	64ビット		NVIDIA GeForce 9600 GT PCIe 2.0 x16 (512 MB GDDR3メモリ搭載)	あり
2013	SYSTEM ES3	PCベース	Intel Core i5-3550S (3.00 GHz)	64ビット		NVIDIA GeForce GTX 650 Ti (Revision B) / GTX 650 (Revision X) PCIe 3.0 x16	あり
2018	SYSTEM BNA1	PCベース	Intel Core i5 6500	64ビット		NVIDIA GeForce GTX 1050Ti	あり

*DSPやグラフィックボードなど、メインCPU以外でポリゴンなどの3D処理計算を実行しているかどうかを指している。

*「3Dハード対応」とは、DSPやグラフィックボードなど、メインのCPU以外でポリゴンなどの3D処理計算を実行しているかどうかを指している。

*2002年のTriforceは任天堂、セガ、ナムコの共同開発のため両社の基板として掲載している。

出所：System 16 - The Arcade Museum (<http://www.system16.com/>)、各社のweb pageなどの情報より筆者作成。

この流れは家庭用ゲーム機が性能競争の主役になっていく過程ととらえることができるが、一方、AMD製のCPUとNVIDIA製のGPU、Linux OS、OpenGLを採用したSYSTEM N2を2005年頃に稼働させている。また、インテル製のCPU、NVIDIA製のGPU、OSにWindows / Linuxを採用したSYSTEM ES1も、2009年から稼働させている。更に、バンダイナムコになってからはSYSTEM BNA1というWindowsベースの基板を開発・稼働させている²⁷。

これら家庭用互換基板、PC基板の開発は、独自に高性能なシステム基板

を独自に開発することが困難になってきたことを示している。

セガによる3DCGゲームの展開

セガはスペースハリアーなど疑似3Dをうまく利用した大型の体感型ゲームを多数開発していた。ポリゴンゲームの発表こそナムコに後れを取ったが、スプライトを用いた疑似3Dの時代からソフトによってはデータ処理を3次元化していたといわれており²⁸、ポリゴンを使用したゲーム開発を意識していたと考えられる。ナムコが「ウイニングラン」でポリゴンゲームをヒットさせると、すぐに対応を開始している。それが1992年に発売された「バーチャレーシング」から始まるバーチャシリーズであった。これらのタイトルにはセガが独自に開発したMODEL1が用いられている²⁹。

「バーチャレーシング」は、その高い完成度もあってヒットした。さらに、翌年に発売された「バーチャファイター」は、ポリゴンによって描かれた人物がなめらかに動き、これまで2Dが前提だった格闘ゲームに大きな影響を与えた。

図表2にセガのアーケード基板の変遷を示す。1980年代半ばからCPUが16ビット化、その後1990年代に入ると32ビット化するなど性能向上が見られる。

セガはGEエアロスペース社（後にマーティン・マリエッタ）との共同開発により、MODEL2（1993年）、MODEL3（1996年）と高性能な3D基板

²⁷ GAME Watch, 「【JAEPO 2020】アーケード版「太鼓の達人」がいよいよ120fpsに対応だドン」(<https://game.watch.impress.co.jp/docs/news/1234072.html>) 2021年2月7日アクセス。

²⁸ 開発者である鈴木裕によると、「ハンゲオン」や「スペースハリアー」などは3D表示できるボードがなかっただけで、内部的には3Dで計算している」という。ファミ通.com 『セガ3D復刻アーカイブス3 FINAL STAGE』を鈴木裕氏と中裕司氏の2大クリエイターが熱く語る」(<https://www.famitsu.com/news/201701/20125024.html>) 2021年3月6日アクセス。

²⁹ 4Gamer.net 「ビデオゲームの語り部たち：第21部」(<https://www.4gamer.net/games/999/G999905/20210126043/>) 2021年3月7日アクセス。

日本のゲーム産業における3D表現の展開について 近藤

図表2 セガの主なアーケード基板

発表年	名称	独自	メインCPU	CPUビット数	サウンドCPU/チップ	CG用チップ	3Dハード対応*
1983	SYSTEM 1	アーケード独自	Z80	8ビット	Z80		なし
1985	SYSTEM 2	アーケード独自	Z80	8ビット	Z80		なし
1986	SYSTEM E	家庭用ゲーム機ベース	Z80-B	8ビット	SN76496*2個		なし
1986	SYSTEM 16A	アーケード独自	MC68000(10MHz)	16ビット	Z80(4MHz)		なし
1986	SYSTEM 16B	アーケード独自	MC68000(10MHz)	16ビット	Z80(5MHz)		なし
1987	X BOARD	アーケード独自	MC68000(12.5MHz)*2個	16ビット	Z80(4MHz)		なし
1988	Y BOARD	アーケード独自	MC68000(12.5MHz)*2個	16ビット	Z80(4MHz)		なし
1988	SYSTEM 24	アーケード独自	MC68000(10MHz)*2個	16ビット	メインCPUによる処理		なし
1989	SYSTEM 18	アーケード独自	MC68000(10MHz)	16ビット	Z80(4MHz)		なし
1990	SYSTEM C/C2	家庭用ゲーム機ベース	MC68000(8.948862MHz)	16ビット	Z80		なし
1991	SYSTEM 32/SYSTEM MULTI 32	アーケード独自	NEC V60(16MHz)/NEC V70(20MHz)	32ビット	Z80		なし
1992	MODEL 1	アーケード独自	NEC V60	32ビット	MC68000	Fujitsu TGP MB86233	あり
1994	MODEL 2	アーケード独自	Intel i960	32ビット	MC68000	Fujitsu TGP MB86234	あり
1994	ST-V	家庭用ゲーム機ベース	SH2*2個	32ビット	MC68000	VDP1(スプライト&ポリゴン)、VDP2	あり
1996	MODEL 3	アーケード独自	PowerPC 603(66MHz)	32ビット	MC68000	Lockheed Martin Real3D/PRO-1000*2個	あり
1998	NAOMI	家庭用ゲーム機ベース	SH4	32ビット	32bit Armコア RISC型 (Yamaha)	Power VR (PVR2DC)	あり
1999	SEGAHIKARU	アーケード独自	SH4*2個	32ビット	32bit Armコア RISC型 (Yamaha)	Sega Custom 3D	あり
2001	NAOMI 2	家庭用ゲーム機ベース	SH4*2個	32ビット	32bit Armコア RISC型 (Yamaha)	Power VR (PVR2DC) *2個、VideoLogic Elan	あり
2002	CHIHIRO	家庭用ゲーム機ベース	Intel Pentium III (733MHz)	32ビット	Cirrus Logic CS430 Stream Processor	nVidia XChip 200MHz	あり
2002	Triforce	家庭用ゲーム機ベース	IBM Power PC "Gekko"	32ビット	Custom Macronix 16bit DSP	"Flipper"(Custom ATI/Nintendo)	あり
2005	LINDBERG	PCベース	Intel Pentium4 (3.0G HT)	64ビット		NVIDIA GeForce 6 Series GPU (256MB)	あり
2009	RingEdge	PCベース	Intel Pentium Dual-Core E2160(1.8GHz)	64ビット		NVIDIA GeForce 8800GS	あり
2009	RingWide	PCベース	Intel Celeron 440(2.0GHz)	64ビット		AMD RADEON HD GDDR3 VRAM128MB	あり
2009	SYSTEM SP	家庭用ゲーム機ベース	SH4	32ビット	32bit Armコア RISC型 (Yamaha)	PowerVR2 (PVR2DC)	あり
2013	NU	PCベース	Intel Core i3-3220	64ビット		NVIDIA GeForce GTX650 Ti GDDR5 1GB	あり
2018	ALLS	PCベース			詳細は不明		あり

*DSPやグラフィックボードなど、メインCPU以外でポリゴンなどの3D処理計算を実行しているかどうかを指している。

*「3Dハード対応」とは、DSPやグラフィックボードなど、メインのCPU以外でポリゴンなどの3D処理計算を実行しているかどうかを指している。

*2002年のTriforceは任天堂、セガ、ナムコの共同開発のため両社の基板として掲載している。

出所：ファミ通DC『セガ・アーケード・ヒストリー』, Sega Retro (<https://segaretro.org/>), System 16 - The Arcade Museum (<http://www.system16.com/>), 各社のweb pageなどの情報より作成。

の開発を進める一方、家庭用ゲーム機も開発・発売を続け、これらの互換基板の開発も進めていった。それが、SS互換のST-Vやドリームキャスト互換のNAOMIなどである³⁰。

そのセガも家庭用ゲーム機からの撤退もあり、近年になると独自基板路線

³⁰ 4Gamer.net「ビデオゲームの語り部たち：第21部」(<https://www.4gamer.net/games/999/G999905/20210126043/>) 2021年3月7日アクセス。

には積極的ではなく、P C互換基板（LINDBERGH, RING, ALLS）を展開している。そこで採用されているGPUはNVIDIA製となっている。

以上のように、ナムコとセガは1980年代から1990年代半ばまでアーケードゲームにおいて独自開発の基板による高性能なゲーム開発に注力していたが、家庭用ゲーム機の性能が向上したことで、P Cにおけるグラフィック処理の性能向上がめざましく、開発コストが非常に高くなるようになったことから独自路線を諦め、互換性を重視する方向へと戦略を転換している。そして互換基板は当初は家庭用ゲーム機を対象としていたが、その後P C（およびGPU）の性能向上によってP C互換の基板が普及している。この変化は、プラットフォームの共通化、マルチプラットフォームへの対応の容易さなどの点でソフト開発には優位に働くと考えられるが、一方で、ハードとソフトを同時に開発することによって得られていたメリットを低減させているとも考えられる。

3. 家庭用ゲームにおける3DCG技術の導入過程

家庭用ゲーム機は長きにわたり、アーケードゲーム機と比較して性能が劣るというのが常であった。これは性能に見合った高い価格を設定できるアーケードゲーム機と異なり、一般家庭で購入することが前提である家庭用ゲーム機では価格設定が非常に重要である点、さらに家庭用ゲーム機が市場に投入され市場を確保すると、次世代のゲーム機に取って代わられるまで同一の性能のまま維持される点など、両市場の違いによるものである。1980年代から1990年半ばまで、アーケードの高性能なゲームをいかに劣化させずに家庭用に移植するのかがゲームの評価を左右していたといえる。

この状況を変えたのが、1994年前後に発売されたいわゆる「次世代機」である。1993年に3DO規格を採用した松下電器による3DOリアルが発売され、その翌年にはP SとS Sが、1996年にはNINTENDO64が市場に投入された³¹。この転換点における新規企業は、既存企業とは異なった事業戦略を取っており、そのひとつに3D技術の積極的採用があった³²。3DOは家庭用3Dゲーム

機のバイオニアであるが、失敗におわった。そこで、ゲーム機メーカーとしてのソニー、セガ、任天堂を例に3Dゲームへの取り組みについて確認していく。

ソニー：PSによるゲーム市場への参入とナムコとの協力体制

ソニーが家庭用ゲーム機市場に参入したのは1994年のプレイステーション（PS）による。元は任天堂と共同開発で進められていたCD-ROM機の計画が中止になり、ソニー単独のプロジェクトとして再スタートしたという経緯がある。久夛良木健を中心に開発され、当初からCD-ROMを生かした大容量、当時のグラフィック・ワークステーションに劣らない3D処理を実現するためジオメトリエンジン「GTE」を搭載している。また、JPEGデコーダーによって高品質なムービーの再生が可能になった。次世代機ではROMカセットから、光学メディア（CD-ROM）への移行が進んだ。これによる大容量を生かして、リアルタイムで3Dのキャラクターを動かしながら、3DCGによる高品質なプリレンダリングムービーを用いることもできるようになり、ゲームにおいて3D表現が普及していくきっかけを作った。

しかし、開発当初は3DCGに注力した設計は特殊であり、ゲームソフト会社の反応は良くなかったとされる。そんな状況下でライバルとなるセガが「バーチャファイター」を成功させたことで状況が変わったという証言がある³³。

ナムコも独自に家庭用ゲーム機参入を考えていたが、ソニーからPSの詳細が発表されるとこれに興味を持ち協力関係を築いていく。当時、ライセン

³¹ 1995年には任天堂よりバーチャルボーイが発売されたが、これはポリゴンを利用した「CGゲーム」ではなく、ワイヤーフレームとゴーグル型のディスプレイによる左右の視差を利用し立体表示を実現したものである。

³² そのほか、新たな流通チャネルの活用などがあった（砂川，1998，p.15）。

³³ ファミ通.com、「初代プレイステーションを救ったのは『バーチャファイター』!? SCE創業メンバーたちがその成功の背景を語った」（<https://www.famitsu.com/news/201209/01020542.html>）2021年3月6日アクセス。セガの家庭用ハード開発に長く関わり、2001年から2003年までセガの代表取締役社長を務めた佐藤秀樹も同様の証言をしている（佐藤，2019）。

スをめぐって任天堂との関係がぎくしゃくしており、一方で、セガはアーケードゲームにおけるライバルという状況であった。また、アーケード向けの低価格システム基板の開発を考えていたナムコにとってP Sの仕様は魅力的であり、リッジレーサーによるP S陣営への参入、共同開発のSYSTEM11につながった。

セガ：アーケード市場と家庭用ゲーム機の両立

前述した通り、1990年代以降、セガはアーケードの高性能基板で3 D化を推進（MODEL1～MODEL3）する一方、セガサターン（S S）、ドリームキャスト（D C）と家庭用ゲーム機にアーケードの人気作品を移植、独自の家庭用ゲームタイトルも展開していった。セガはアーケード市場の成功から家庭用ゲーム機に参入してきた経緯があり、両市場にタイトルを継続的に開発（移植）してきた³⁴。

「バーチャファイター」（MODEL1で稼働）などもS Sに移植されヒットした。しかし、S Sは3 D専用のGPUを搭載せず、CPU演算によって3 Dを実現していたためP Sに劣っていると評価されることが多い。セガの家庭用ゲーム機が3 D向けの設計となるのはD Cからであった。S Sは3 Dリアルタイム表現では若干遅れをとったが、光学メディアの採用によるムービー利用が可能といったこともあり、自社、サードパーティのソフトでムービーの利用が進んだと考えられる。

D Cではビデオロジック社（現イマジネーションテクノロジー）のGPUであるPowerVR2を用いていた（イマジネーションはその他では、iPhoneにGPU技術を提供していたファブレス企業である）。D Cは商業的には失敗し、以後、家庭用ゲーム機のハード市場からは撤退している。前述の通り、

³⁴ 例えば1985年の「スペースハリアー」をアーケードで成功させると、翌年にはセガ・マークⅢ版を発表している。

アーケード向け基板開発は継続しているが、次第にPCと類似した仕様になっていく。セガはゲーム機の自主開発から離れた後、家庭用ゲーム市場において、任天堂、ソニー、マイクロソフト(Xbox)などのプラットフォームに向けたタイトルを提供するようになっていく。

任天堂：家庭用ゲーム市場への集中

スーパーファミコンでは「スターフォックス」,「スーパードンキーコング」などで3D表現に取り組んでいた任天堂が本格的に3DCGを意識したゲーム機を発売したのは、1996年発売のNINTENDO64(N64)からである。同機ではシリコングラフィックスと協力し「スーパーマリオ64」,2001年発売のGAMECUBE(GC)ではArtX(シリコングラフィックスからのスピンアウト)と協力でさらに3D性能を向上させるなど、積極的に3Dゲーム機開発に取り組んでいった。

しかし、N64はPS、SSよりも販売が2年遅れたこともあって、処理速度などでは優れていたが、ソフトがロムカセット方式のため、プリレンダリングムービーの利用は他機種と比較して限定的だった。

WiiからはATIのGPU採用(共同開発)となっていく(ArtXがATIに買収されたため)。そして、Wii UからはAMDによるRADEON(ATIがAMDに採用されたため)となった。

以上を考えると、任天堂は比較的長い期間、同一のアーキテクチャを採用してきたといえる。GCまでは共同開発による独自GPUを用いて高性能を追求してきたが、Wii以降はその競争からは距離を置いている。最新機種のニンテンドースイッチではAMDではなく、NVIDIAのGPUが採用された。

アーケードと家庭用ゲームの関係性

以上、見てきたようにアーケードと家庭用ゲームにおいては活躍する企業群がある程度共通していることがわかる。任天堂は1985年～1986年にアー

アーケード市場から基本的に撤退したため、アーケードの人気タイトルを自社の家庭用ゲーム機に生かすという戦略を単体ではとれなくなったが、セガは自社のタイトルが家庭でも遊べるという点を重視してきたし（アーケードの方が規模も大きく、人員にも恵まれていたこともある）、アーケードにできるだけ高性能なソフトを投入し、それを移植する形で家庭用ゲームの表現を向上させてきた。

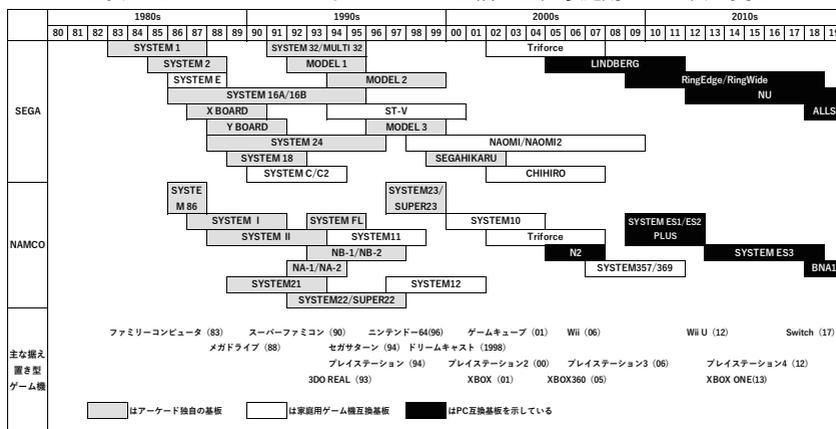
しかし、やがて家庭用ゲーム市場が成長し、高性能なゲーム機が発売されるにつれて、アーケードの優位性は低下していった。それによって、最先の技術を用いたゲームは家庭用ゲームに集中することになった。家庭用ゲームを主に、それと互換性を持たせたアーケード基板、あるいはPCの構成に似せたより汎用性の高いアーケード基板が主流となるなかで、アーケードはより大画面でそれを楽しんだり、特殊な装置を用いたりすることで、差異化をしていったと考えられる。

一方、家庭用ゲーム機は、新たな問題に直面している。家庭用ゲーム機は、独自チップの開発による高性能化が目指されていた時期があったが、現在ではPC市場で馴染みあるGPUベンダーによって提供されている³⁵。ソニーも、PS、PS2、PS3まではGPUの設計・開発に東芝関わった後はAMD製となった。3D表現を用いたゲームソフトの発展が、開発コストの問題、そして日本の半導体企業の技術力の限界を背景にして、PCゲームとの新たな競争を生み出したと考えられるのである。

下記の図表3はセガとナムコのアーケード基板の変遷と主要な家庭用ゲーム機の発売年を比較したものである。1980年代はほとんどがアーケード基板であったのに対して、徐々に家庭用ゲーム機互換基板が増加し、その後はPC互換基板が主流となっていることがわかる。

³⁵ マイクロソフトは家庭用ゲーム機に初めて参入した初代のXboxからPCの構成を意識したような仕様を採用している。インテル製CPU、NVIDIA製のGPU、Windows OSなど。詳しくは（近藤，2017）。

図表3 セガとナムコの主なアーケード基板と各社家庭用ゲーム機の変遷



注：各基板の幅はその基板の稼働期間（新規タイトルが発売されている期間）を示しているがすべてのタイトルを確認できていないため注意が必要である。
出所：近藤（2017），図表1，2の資料などから筆者作成。

おわりに：日本のコンテンツ産業におけるゲームの重要性／特殊性

日本では、CG技術を生み出したアメリカとは異なり、ゲーム産業におけるCG利用が先行した。アメリカでは、1991年の「ターミネーター2」、1993年の「ジュラシックパーク」などで大々的にCGが利用され、1995年に「トイ・ストーリー」も公開されているが、同時期、日本では映画やフル3Dアニメが登場しなかった。これには制作費の問題、あるいは技術力の問題、製作者／消費者の好みの問題など様々な要因が考えられるが、家庭用ゲーム産業の著しい発展が日本のコンテンツ産業における新技術の普及に重要な影響を与えたのは確かである。

もともと、ゲームにおいては、ポリゴンなどによる3D表現が可能になる前から3D化（疑似）の試みが、例えばレースゲームやシューティングゲームの領域で積極的に行われていた³⁶。そして1990年代になるとアーケード、家庭用

³⁶ ナムコとセガ、両者の初3Dゲームがともにレースゲームだったことについて、2D（疑似3D含む）との違いがもっともわかりやすいためであると指摘されている。（小山，

ゲーム双方で3D化が急速に進んだ。そういった意味でも、3D技術を取り入れるのは自然な流れであった。また、ゲーム市場において3D化はコスト面でも優位に働いたと考えられている。すなわち、疑似3Dでは3Dに見せるためにパターンを作成するなどの労力を要するが、完全な3D表現を実現することでそのコストを下げることができるとされている。他社との差異化という意味でも3Dは大きな役割を果たしたが、ゲーム制作上のコストという点でも利点があったといえる。

日本のゲーム機メーカーにとっては他社のゲーム機と比較して、どれだけ消費者を惹きつけられるかに注目が集まり、そのために積極的な技術開発が行われた。特に、本稿で取り上げた、ナムコ、セガといったアーケードを運営するゲーム会社は、3D基板の作成などアーケードゲームの3D化を牽引した。1990年代前半まではアーケードゲームが最先端の3Dゲームを提供するプラットフォームとなり、それら最先端のゲームが家庭用ゲーム機に移植されるという形で普及していった。ナムコはソニーと技術協力(P S)し、セガはS S、D Cへと3Dゲームを投入していった。こうして、日本においては、3Dゲームの登場が、アーケードと家庭用ゲームの間で相互補完的な関係をより強化し、共進化を遂げるという重要な契機となったのである。

こうした共進化の関係は、アーケード基板の変遷から明らかなように、近年になるほどP C互換のアーケード基板が増えていることからも見取れる。これは高性能な基板を独自開発することが困難になったためと考えられるが、別の見方をすれば、P C互換の仕組みでも十分に高性能なゲームを提供できるようになったともいえる。

このP Cとの類似性は家庭用ゲーム機においても同様に見られる現象である。近藤(2017)によれば、3D技術の急速な発展から、家庭用ゲーム機専用

2020, p.207) また、石井(2017, p.186)によればレースゲームはキャラクターを再現するよりも容易なため必然的に選ばれたという。

に半導体チップを開発・製造することが次第に困難となり、結果として家庭用ゲーム機で用いられるアーキテクチャもPCと類似したものになっていった。かつて、アーケードゲームが家庭用ゲームの台頭によって直面した問題と同様の状況に、家庭用ゲームが直面したともいえる。

このように、日本のゲーム産業においては、3Dという新たな表現方法の導入が、独自の産業発展をもたらす一方で、それによってまた独自の問題を生み出すことにもなったと考えられるのである。

本稿では、3Dゲームの登場によってアーケードと家庭用ゲームの間で相互補完的な関係がより強化されていったことが明らかになった。一方、PCゲームは独自の進化を遂げ、結果として家庭用ゲーム市場やアーケード市場に影響を与えるに至ったと考えられる。PCゲームを取り巻く環境がいかに発展していったのか、そして、特に半導体技術がゲーム産業全体に与えた影響について明らかにすることが今後の課題である。

附記 本稿は科学研究費基盤研究（C）研究代表者：近藤光「企業の多角化とメディアミックスの経営史：日本クリエイティブ産業企業の比較研究」（研究課題/領域番号18K01769）による成果である。

文献一覧（Web文献は脚注に記載）

Krull, F.N. (1994). The origin of computer graphics within General Motors.

IEEE Annals of the History of Computing, 16 (3): 40.

赤木真澄（2005）『それは「ポン」から始まった』アミューズメント通信社。

石井ぜんじ（2020）『ゲームセンタークロニクル』standards。

大口孝之（2009）『コンピュータ・グラフィックスの歴史 3DCGというイメージネーション』フィルムアート社。

大村皓一（2004）「コンピュータグラフィックスの歴史と基本技術および最新動向」『電気学会誌』, 124(6), pp.337-340。

- 小山友介（2020）『日本デジタルゲーム産業史 増補改訂版』人文書院。
- 近藤光（2017）「ゲーム産業におけるサプライチェーンの国際化－家庭用ゲーム市場の発展と部品構成の変化－」安部悦生編著『グローバル企業』, pp.168-205。
- 佐藤秀樹（2019）『元社長が語る！セガ家庭用ゲーム機 開発秘史』徳間書店。
- 砂川和範（1998）「日本ゲーム産業にみる企業者活動の継起と技術戦略－セガとナムコにおけるソフトウェア開発組織の形成－」『経営史学』第32巻第4号, pp.1-27。
- ファミ通DC編集部（2002）『セガ・アーケード・ヒストリー』エンターブレイン。
- 松浦健一郎・司ゆき（2020）『伝説のアーケードゲームを支えた技術』技術評論社。
- 三上浩司・渡辺大地（2016）『CGとゲームの技術』コロナ社。

（こんどう ひかる 本学専任講師）