

「メタ AI」と「AI Director」の歴史的発展

三宅陽一郎、水野勇太、里井大輝

株式会社 スクウェア・エニックス

{miyakey, mizuyuta, satodaik}@square-enix.com

概要: デジタルゲームにおけるキャラクターの頭脳である「キャラクターAI」、パス検索など環境を認識する「ナビゲーションAI」と並んで、ゲームAIの柱の一つとなりつつある「メタAI」について、その概念の歴史的形成を探求する。メタAIはゲーム全体を動的にコントロールする人工知能である。「メタAI」という言葉が使われたのは2005年以降のことであるが、メタAI的なアイデアは80年代のゲーム開発の中からあり、現代ではその発展した形で生き続けている。また、2008年以降、メタAIとほぼ同じ意味でAI Directorがあり、現在はこの両者が混在している状態である。本論文では、これまでまとめられることのなかった両者の概念の形成と実装具体例を追いつつ、メタAIとAI Directorがカバーする領域と役割の差異を明確にし、現時点での定義を行う。メタAI、AI Directorの研究・開発の歴史的経緯と定義を提供することで、今後のメタAI、AI Directorの研究・開発の礎となることを目的とする。

キーワード: メタAI, AI Director, ゲームAI, 歴史

A History of Formation of Meta AI and AI Director

Youichiro MIYAKE, Yuta MIZUNO, Daiki SATOI

SQUARE ENIX CO., LTD.

{miyakey, mizuyuta, satodaik}@square-enix.com

Abstract Meta AI is one of main three game AIs such as Character AI, Navigation AI, and Meta AI. A character AI means a character's brain to make a decision, and Navigation AI is a recognition system for an environment of a game. Meta AI is AI to control a whole game dynamically. A technical term "Meta AI" began to be used since 2005. But the original idea of Meta AI can be seen in the game development in 80's, and it has been developed until now. Furthermore, a concept of AI Director was born in 2008. AI Director is similar to Meta AI, and they are used in almost same meaning, but different. The paper is the first attempt to research a history of concept formation of both of them, and their difference of fields and roles become clearly defined. This study can become a base of research in Meta AI and AI Director for the future by providing their history and past circumstances of developments and researches.

Keyword Meta AI, AI Director, Game AI, history

1. 「メタ AI」と「AI Director」形成の背景と歴史

現代のゲームの人工知能は「メタ AI」と「キャラクターAI」と「ナビゲーション AI」に分類される。キャラクターAIとは、キャラクターの意思決定を主とするAIであり、ナビゲーションAIとは、パス検索を含む環境に関する認識を構成するAIである。「メタ AI」はゲーム全体を観測し、ゲーム全体を変化させる人工知能である。ゲームAIは、ゲームユーザーの体験を、他の技術と共に、この3つの人工知能を協調させて形成する。歴史的には80年代、90年代では、ゲームシステムの中に人工知能のプログラムが多数の箇所に分散して含まれていた。そこから主に90年代後半のゲームの3D化、大規模化に伴い上記の3つの人工知能が分岐した(図1)[1]。ゲームシステムからキャラクターを操作する手法を「スクリプティッド AI」と言う。この手法はあらかじめすべてのキャラクターの状態を想定する必要があり、3Dゲームの複雑化・大規模化に伴いこの手法での開発は次第にレベルデザインに適用できない低品質のキャラクターを生み出すこととなった。そこで、1999年頃からMITを中心とした大学から自律型AIの技術がロボティクスから導入され始めた。

またゲームをコントロールするという意味では、メタAIと類似した「AI Director」という概念が2008年に登場し、ゲーム産業内に浸透している。メタAIとAI Directorの事例からその発展を追いつつ、共通点と類似点に関して分析して行く。

デジタルゲームの発展と共に、ゲームのスケールの拡大と複雑度の向上において、キャラクターAIのみでゲームの流れを作ることは難しくなっている。キャラクターAIがコントロー

ル可能である状況は、それぞれのキャラクターの周囲の局所的状況である。そこでゲームキャラクターたちを俯瞰的にコントロールしてゲームの流れを作る「AI Director」の役割がますます大きくなりつつある。またゲームを成り立たせるのはキャラクターだけではなく、動く岩や回る火の棒などのゲームギミック、地形・天候などの環境もある。これら全体をコントロールして、ユーザーに向かって動的に状況を作り出す「メタAI」の役割もますます大きくなりつつある。両者の発展の歴史と定義を明確にすることは、これからの両者の応用によるデジタルゲームの発展の方向を明確にし、ゲーム産業における応用を助けることになる。また両者の区別をはっきりさせることで、両者の持つ適用範囲と機能を区別し、よりはっきりとした方向付けのある応用の基礎となり、デジタルゲームの発展の土台となる。

3つのAIの成立は、「ナビゲーションAI」の形成が最も早く、次に「キャラクターAI」である。「ナビゲーションAI」の基礎を為すナビゲーション・メッシュやウェイポイント上の経路検索は、もともとロボット分野で発達した分野が90年代後期にデジタルゲームに導入された[2]。キャラクターAIの中核を為す意思決定とアーキテクチャであるエージェント・アーキテクチャは、ロボット分野・人工知能分野で育まれて来た技術である[3]。しかし「メタAI」と「AI Director」という概念はゲーム産業において誕生した分野であり、ゲーム産業でAIエンジニアにおいて一般的に使われる概念になりつつあるが、これまでその形成の歴史的経緯がまとめられてこなかった。本論文は「メタAI」と「AI Director」の歴史的形成とその定義領域を

明らかにすることを目的とする。

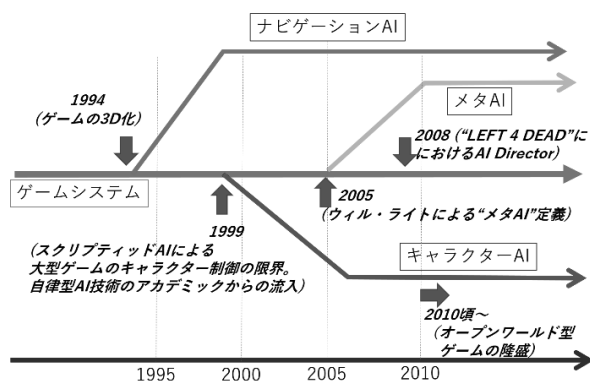


図 1. 三つの AI の分岐と歴史

「メタ AI」という言葉が最初に登場するのは、第 3 章で解説する 2005 年のウィル・ライトの講演である。しかし、それ以前から別の言葉で「メタ AI」と同等の機能が実装されていた。「メタ AI」の歴史は 2 期に分けることができる。一つの流れは、80 年代の日本のゲーム開発の流れと、もう一つは 00 年代の大型ゲーム全体を制御するために導入された流れである。本論文では 80 年代のメタ AI を「古典的メタ AI」、00 年代のメタ AI を「現代のメタ AI」と呼ぶこととする。

メタ AI 事例をこのような分類をする妥当性については、事例数が十分ではない。ただ、80 年代と現代では、メタ AI の機能の質が大きく違うために、ここでは二つに分類した。今後の調査によっては第三、第四のメタ AI の分類が出現する可能性がある。しかし、現時点では大きく 2 つに捉え、この名称を付することとする。

第 2 章では古典的メタ AI の事例を説明し、第 3-5 章では現代のメタ AI と AI Director の事例を説明する。第 6 章では、これらの事例から、メタ AI、AI Director を比較し再定義を行う。

本論文の主旨は、産業内で発展した「メタ AI」と「AI Director」についての概念を整理すること、それによって本分野の学術的研究の基礎と出発点を与えることである。また、「メタ AI」と「AI Director」からデジタルゲームの歴史を見直すことで、これまでのデジタルゲームに含まれていた「メタ AI」的、そして「AI Director」的な要素を抽出し、これまで統一した名前を与えられて来なかったデジタルゲームの流れを明らかにする。この作業については、6.3 で行う。これによって本分野のこれまでの産業応用の歴史的流れを示し、これからのゲームタイトルのための新しい開発方向を与えることを目的とする。

2. ナムコにおけるメタ AI の誕生

日本における 80 年代のデジタルゲームでは、ゲーム文化が始まったばかりであり、ゲームの難易度が集客に大きく影響していた。ユーザーは簡単すぎれば飽きてしまい、また難しすぎれば投げ出してしまいう傾向にある。そこで「ユーザーのプレイスキルに合わせてゲームの難易度が変化する」レベル自動コントロールシステムが考案された[4]。岩谷徹氏(当時

ナムコ)は実際にレベル自動コントロールシステムを文書で書き起こし社内で配布した。これがどのタイトルに実装されたかまでは定かではない。

岩谷氏:ファンと一般のユーザーを満足させる方法のひとつは人工知能 AI のような考え方です。プレーヤースキルをプログラム側から判断して、難易度を調整していくというものです。これを私はセルフゲームコントロールシステムと呼んで 10 年以上前から開発に使っています[4]。

岩谷氏:これ(セルフゲームコントロールシステム)は、『バックマン』⁽¹⁾の 1 年後につくりました。ビデオゲームをつくって出すとき難易度調整を固定して出しますよね。今のネットワークゲームは運営しながら難易度の調整をすることも可能ですが、我々のときは面白いのにプレイヤーにとって難しすぎて売れなかったゲームがたくさんありました。だからといって、やさすぎると、今度は長時間遊べてしまうため回転が伸びず、売上が上がらないということで低評価になってしまいます。ですから、市場にぴったりの難易度設定をするのにすごく難儀していました。

その苦労があったので、プレイヤーの上手・下手を計測してリアルタイムに反映できるコントロールシステムの概念を考えました。指標となるのは命中率や到達率です。これは常に追うことができるので、「このプレイヤー上手いな」と判断できれば、ちょっとその後の進行を難しくする。すぐにやられちゃったら、「ああ、この人は初心者だな」とプログラム側でやさしいバージョンに切り替えていきます。それもリアルタイムでできるのです。[5]

また『ゼビウス』(ナムコ、1982)⁽²⁾はレベル自動コントロールシステムが導入されている。ゼビウスには空中の敵と地上の敵がある。空中の敵は出現する順番が決まっており、プレイするとどんどん強い敵になって行く。しかし、一度撃墜されると、出現テーブルが巻き戻り、弱い敵からやり直すことになる。地上の敵の配置は変わらないので、ステージ自体はどんどん進んでいく。このようにゲームは一定のスピードで進行しながらも、レベル自動調整機能によって、難易度を自動的に調整することができた。ゼビウスの開発者、遠藤雅伸はテレビ番組 [6]において次のように語っている。下記は著者が書き起こしたテレビ番組の抜粋である。

遠藤氏:『あと面白い機能なんですけれど、ゼビウスには非常に簡単な AI が組み込まれています。で「プレイヤーがどれくらい腕か」ということを判断して、出てくる敵が強くなるんです。強いと思ったキャラクターには強い敵が出てきて、弱いキャラクターと思った相手には弱い敵が出てきます。そういったプログラムが組み込まれています。で、それ結構、ゲームのプログラムの難易度というのは「初心者には難しく、上級者には簡単だ」というのが、ひとつの難易度でやっていくと起きてしまうので、その辺を何とか改善したいな、ということとでそういったことを始めてみたのですけれど、お陰で割合にあまり上手くない人でも比較的長くプレイできる、で、上手

い人でも結構、最後のほうに行くまで結構ドラマチックに楽しめる、そういった感じになっています。』[6]

これ以前にもアーケードゲームでは難易度を調整するアナログのディップスイッチが存在し、また家庭用ゲームでは「ハードモード」「イージーモード」などモードを分けるという実装があった。しかし、上記の二例は「ゲーム内で動的にユーザーに合わせてレベルを調整する」機能である点に新規性があった。このように、まずは難易度調整として「メタ AI」は誕生した。しかし、これから第3、5章の事例を通して説明するように「メタ AI」はより広い概念として拡張されて行く。「メタ AI」はゲームシステムを知能化し、ゲームシステムにバリエーションや新しい機能を実現するところにある。

また岩谷は『パックマン』の設計において以下のように述べている。

岩谷： その下を書いてあるのが「波状攻撃」についてです。常に追われている時間帯のままでとやっぱり嫌なので、ときどき敵が攻めてこない時間帯をつくるための波状攻撃です。時間とともに攻めるときと攻めないときを設定しています。波状攻撃の攻撃時間が終わりにになると、ゴーストそれぞれにホームポジションがあるので四隅に逃げていきます。プレーヤから見ると、「なんか囲まれて危なかったけれどラッキー」というイメージです。[5]

このゲームプレイに敵キャラクターのコントロールによって緩急を付ける、という発想は、後 AI Director の基本となるアイデアであり、『パックマン』にその原型を見ることができる。

3. ウィル・ライトによる「メタ AI」概念の提唱と実装

「メタ AI」という言葉を最初に使ったのは、米のゲームデザイナーのウィル・ライト(Will Wright, 1960-)氏である[7]。ウィル・ライト氏は日本ではファミリーコンピュータのソフトとして発売された『バンゲリング・ベイ』⁽⁴⁾の作者であり、『シムシティ』⁽⁴⁾の作者でもある。その後も、自分自身で設立した MAXIS 社でシム・シリーズの後継となる「The Sims」(MAXIS, 2000, 日本名はシム・ピープル)⁽⁵⁾などで世界的なヒット作をなした。ウィル・ライトは 2005 年に AAAI の分會 AIIDE(AI and Digital Entertainment) 2005 の講演「AI : A Design Perspective」において、ゲーム AI の3つの分類「Meta AI」「Peer AI」「Sub AI」について言及した(図 2,3,4)。

この講演の骨子を説明する。「メタ AI」はユーザーの体験を対象とする AI である。ユーザーをモデル化し、ゲームのペースを始めとしてゲーム全体を操作することで、体験のコントロールを指向する AI である。これは「ゲームデザイナー」に相当する役割を持つ。すなわち、データを生成し配置しユーザーをそこでプレイさせる。「メタ AI」は時にそのような役割を「Peer AI」「Sub AI」の力をかりて実行する。「Peer AI」は「キャラクター AI」と同義である。「Sub AI」はゲーム世界の自律シミュレーション機能である。ゲーム特有のゲーム世界の発展の仕方を定義する。

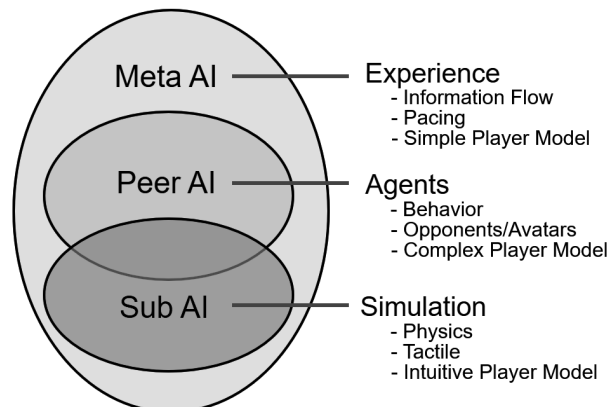


図 2. 「Meta AI」「Peer AI」「Sub AI」の分類図[7]

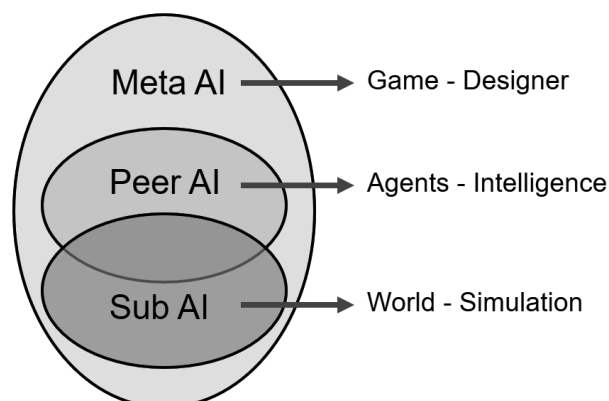


図 3. 「Meta AI」「Peer AI」「Sub AI」の機能説明[7]

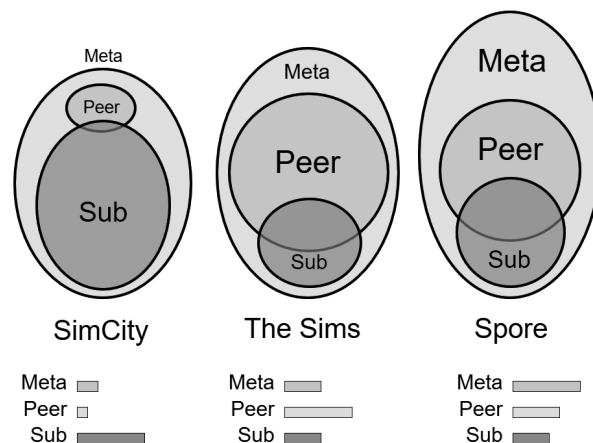


図 4. ゲームごとの「Meta AI」「Peer AI」「Sub AI」の比重[7]

たとえば、『シムシティ』では、ユーザーが配置した街のオブジェクトが影響マップを通して街全体に影響を及ぼして行く「Sub AI」の機能が主であり、キャラクター AI である「Peer AI」の機能はほぼなく、「メタ AI」は「Sub AI」に大きく依存しながらゲームを進行する [8]。『The Sims』では、キャラクターは自動生成され、キャラクターはその内面のパーソナリティ・モデルに従って、ユーザーの配置したアイテムを使用して行動するため、「Peer AI」の機能が大きく、「Sub AI」の機能は街や人間関係の発展のみを担当する[9]。

『The Sims』⁽⁵⁾(MAXIS, 2000)では「メタ AI」は「Peer AI」に

大きく依存しながらゲームを進行する。

『Spore』⁽⁶⁾(MAXIS, 2008)ではユーザーのゲームプレイを補助し、データを自動生成するAIが実装されている。たとえばユーザーがキャラクターを作ると、その形状に合わせてアニメーションが自動生成される[10][11]。「メタAI」はユーザーのプレイを解釈し幾重にも拡大してゲーム全体を変化させる役割を持っている。「Peer AI」は『The Sims』で使用されたシステムがほぼ踏襲されているが、「Sub AI」はミクロな宇宙からマクロな宇宙までを通してシミュレーションする巨大なシミュレーション・システムとして機能している。『Spore』はこのように自律発展する宇宙にユーザーが干渉しながらプレイする仕組みとなっており、その宇宙に対するユーザーの干渉の仕方を「Meta AI」がコントロールしている。

以上が講演の骨子である。

このように、ウィル・ライトのゲームデザインは『シムシティ』『The Sims』『Spore』とメタAIを拡大しながら発展している。「Peer AI」「Sub AI」は一般的に使われている言葉ではないが、ゲームに普遍的に存在する要素であり、ウィル・ライトのゲームデザインの思想がAIの種別と組み合わせによって表現されている。ウィル・ライトのゲームデザインの思想は、ゲームを「デザインされたシミュレーション」として捉える考えであり、そのデザインはこの3つのAIの組み合わせによってなされる。

「メタAI」はこの後、数年の開きの後、ゲーム産業において一般的な用語として使用されて行くが、その起源である本講演が参照される機会はほとんどない。ウィル・ライトの独自のゲームデザインの概念と捉えられていたが、4章、5章で紹介する事例を伴いながら、時間をかけて広まっていった(表2)。

4. メタAIの内部構造

ここで、これから説明を明確にするために、メタAIのAIとしての内部構造を示しておく。これらは、これから説明するメタAIのさまざまな事例の中で共通して見られるものであり、第5章(表2)におけるメタAI、AI Directorの分類に用いる。

メタAIの内部構造は、キャラクター・エージェントと同じエージェント・アーキテクチャ(図5)を持つ。エージェント・アーキテクチャは知能と世界を結ぶ知能のモデルであり、エージェント(キャラクター)も、メタAIも、このモデルに従って、ゲーム世界と関係する。

エージェント・アーキテクチャとは、環境世界とキャラクター(エージェントと同義)の持つ知能を分離し、環境世界からセンサーによって刺激・情報・力を受け取り、エフェクタ(知能が持つ世界に影響を与える要素)によって世界に影響を与えるシステムである。センサーとエフェクタの間に意思決定機構がある[12][13]。キャラクターの持つエージェント・アーキテクチャは自分の身体を中心とした局所的空間を五感のセンサーで認識し、変化する環境世界に対応する短時間(1/60秒～1秒)の行動の意思決定を行う。意思決定のアルゴリズムはルールベース・ステートベース・ビヘイビアベース・タスクベース・ゴールベース・ユーティリティベース・シミュレーションベースの7つが最も良く使われる[1]。キャラクターAIにおけるエ

フェクタとはキャラクターの身体そのものである。

一方、メタAIは自ら身体は持たず、そのエージェント・アーキテクチャは、ゲーム全体の空間状態を俯瞰的な視点から大局的に認識し、短時間から比較的長時間(数秒～数十秒)までの意思決定を行う(表1、図6)。エフェクタはゲームのあらゆる要素である。ノン・プレイヤー・キャラクター(NPC)への命令や地形・天候の変化からサウンド、物語生成まで、レベルを構成するあらゆる要素を変化させることでユーザーの体験を変化させる。メタAIのセンサーは大局的かつ長時間に渡るゲーム世界の把握するために、通常のエージェントのセンサーとは異なる。ゲーム全体を把握するために、たとえばナビゲーション・メッシュを単位として、一メッシュ上の敵、味方キャラクターの状態を集める、或いは、影響マップを通してゲーム全体をグリッド状に分割した上で、敵・味方の勢力図を把握する、などであり、空間全体を把握する知識表現を持つ。

またゲーム全体の流れを把握するために、時間方向に対してはログを集積する。たとえば、プレイヤー・キャラクターの座標を取得し続けることで、プレイヤー・キャラクターの予測経路を割り出すことができる。また意思決定に関しては最終的にはゲームのどの要素をどのように動かすかを決定する必要がある。意思決定の手法はキャラクター同様、7つのアルゴリズムのいずれかを用いることになる。短期的には一つの行動をNPCに指定するなど即自的变化を促すパターン、そして、長期的にゲームをあら方向に導いて行くものがある。前者はルールベース、ユーティリティベース、ステートベース、ビヘイビアベースなど反射型意思決定が向いており、後者はゴールベース、タスクベース、シミュレーションベースが有効である。

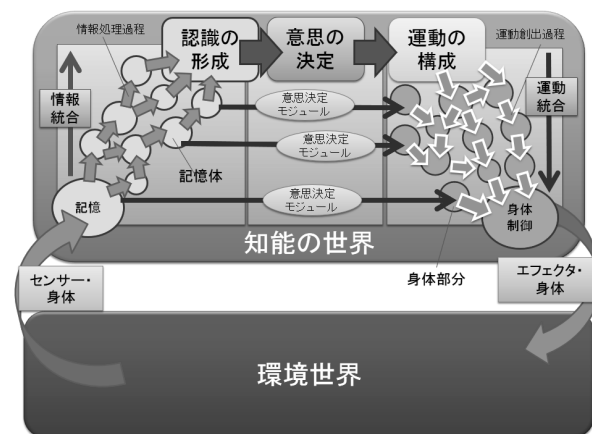


図5. エージェント・アーキテクチャ

表1. キャラクターAIとメタAIの比較

エージェント・アーキテクチャの要素	キャラクターAI	メタAI
センサー	自分の身体を中心とした局所的・短時間の変化を認識	ゲーム全体を大局的・長時間に渡る変化を認識
意思決定	短時間の自分の身体的行動を決定する	大局的・短～長時間に渡るゲーム全体の変化の方向を決定する
エフェクタ	キャラクターの身体	ゲーム全体・ゲームのあらゆる要素

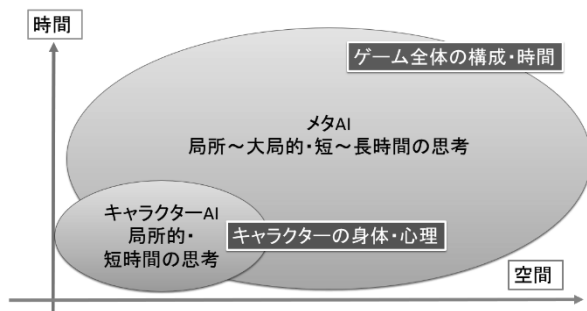


図 6. キャラクターAIとメタAIの時間・空間スケール

5. メタAI、AI Directorの実例

メタAIとAI Directorは類似した概念ではあるが、異なる概念である。メタAIはゲーム全体をコントロールすることが目的であり、AI Directorはユーザーの体験を形成するためにユーザーの周囲の敵・味方キャラクターを含めた変化させることを目的とする。以下、メタAI、AI Directorの実例を年代順に挙げて行く。ここで示すゲームタイトル事例は、開発会社が「メタAI」「AI Director」という名称で技術発表を行っている事例のみである。この名称を用いていなくても、そのように解釈できる事例については6.3で示す。

5.1 『LEFT 4 DEAD』のAI Director

『LEFT 4 DEAD』(Valve Software、2008)⁽⁷⁾は4人がグループとしてプレイする襲い来るゾンビの集団と戦うマルチオンラインアクションゲームである。Valve SoftwareのTurtle Rock Studiosが前作『Counter Strike』⁽⁸⁾の経験をもとに製作を行った。『Counter Strike』が世界的に人気を博した理由を開発者自ら調査する過程で、偶然のバランスではあるが、攻撃と休止が交互に来ることを見出した[14]。そこで、次回作ではそのようなゲームの緩急を人工的に作り出すために、敵キャラクターの出現の場所とタイミングをコントロールする「AIディレクター」(AI Director)を導入した[15][16]。この「AI Director」の導入は、この後に続く「AI Director」のお手本となるものであり、現代のAI Directorの出発点となった。しかし、第2章で前述したように、この発想はすでに『パックマン』を原型として数々のゲームに見られるものであり、明確に『AI Director』としてAIとして概念化した点、また緊張度というユーザー計測を導入した点に新規性がある。

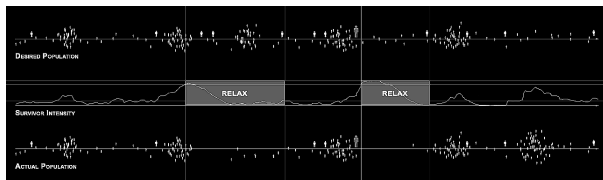


図 7. 『LEFT 4 DEAD』のユーザー緊張度曲線(中央) [15]

AI Directorはゲームからユーザーの行動ログを集めて、ユーザーの緊張度を推定し、そこからNPCの出現タイミングと場所を決定し命令を出す。ユーザーの緊張度の推定は、開発中は、手の発汗量(スキンコンダクタンス、SCL)や心拍数などから推定する。

スキンコンダクタンスとユーザーの緊張度が連動する点については、キャラクターを出した事象とスキンコンダクタンスの上昇が同期することが確認されている[17]。しかし開発過程の検証であり、生体データとゲームイベントの相関は現在も研究が続けられており、今後より精密な検証がなされる必要がある。

リリースされたゲームでは、測定デバイスがゲームコントローラーに付属していないために、生体情報を取ることができない。そこで「倒した敵への距離に反比例した量」「受けている物理的ダメージの総和」から緊張度の推定値がリアルタイムに計算される[17]。

ユーザーの緊張度を時系列データとして記憶し、ユーザーの緊張度に応じて状況を4つに分け、それぞれの状況にあわせてゲームを変化させる。4つの状態間の遷移は、プレイヤーの緊張度が目標値を超えるまで敵を出現させ続ける「Build Up」状態から始まる。そこである緊張度の閾値を超えるとその緊張度のピークを3-5秒維持するために敵の数を維持する「Sustain Peak」状態へ移行する。その期間が終わると、緊張度を下げるために敵の数を最小限へ減少させていく「Peak Fade」状態へ移行する。さらに緊張度がある閾値まで下がると、今度はプレイヤーたちが安全な領域へ行くまで30-45秒間、敵の出現を最小限に維持する「Relax」状態へ移行する。これが本作のAI Directorの「適応型動的ペーシング」の原理である。図7の中段がユーザーの緊張度曲線であり、予定したモンスター配置数(上段)、実際に配置したモンスター数(下段)がプロットされている[15][16]。ユーザーの緊張度に応じて「適応型ペーシング」の状態に応じてAI Directorからモンスターが配置されているのを理解することができる。

AI Directorは、プレイヤーの位置から推定される目的地(たとえばダンジョンの出口)までをパス検索し、プレイヤーの予測経路を推定する。また、プレイヤーの周囲の領域を「アクティブ・エリア・セット」(Active Area Set, AAS)として、そこに含まれるナビゲーション・メッシュのうち、プレイヤーから見えていないメッシュ群を、モンスターの生成ポイント(スポーニングポイント)の候補群とする(図8)。生成する敵キャラクターの数と種類とタイミングは、緊張度から決定される4つのフェーズに応じて決定する。アルゴリズムの詳細を以下に示す。

- (1) 各エリアに、出現数 N を決定する
- (2) 出現数 N は予想される逃走経路の長さや要求される密度によって計算される。
- (3) あるエリアが AAS の中に入るとクリーチャーが N 体生成される。
- (4) そのエリアが AAS の外に出ると生成が中止され、クリーチャーは消滅される。
- (5) N はそのエリアがプレイヤーから見えている場合、或いは、プレイヤーがリラックスモードの場合には、強制的に0になる。



図 8. ナビゲーション・メッシュ(四角い枠)と
アクティブ・エリア・セット(着色された四角)[15]

「AI Director」は、「バックマン」以来、開発者のうちにあったゲームに緩急を付けるノウハウに名前を付け、AIとして実装されたものである。ゲームデザインのノウハウはAIとして実装できる可能性を示した意義は大きく、以下に示すように以降のゲームAI開発に大きな影響を及ぼすことになった。

5.2 Warframe における AI Director

『LEFT 4 DEAD』の AI Director の実装は広くゲーム産業で共有されるようになった。その理由は、以下の4つのことによると考えられる。

- (1) 『LEFT 4 DEAD』が世界的なヒット作となった
- (2) E3などで宣伝においても AI Director に言及されることがあった
- (3) Valve publications というサイトで講演資料がすべて公開されていた
- (4) 技術カンファレンスで数回に渡り解説がなされた

これらを背景に『Warframe』(デジタル・エクストリームス、2013)⁽⁹⁾には、『LEFT 4 DEAD』を参考に AI Director が導入された[18]。『Warframe』で拡張された点は、マップ自動生成が使われていること、また AI Director のセンサー部分に「ヒートマップ」が使われていることである。自動生成されたマップは解析されトポロジーが抽出される。それをを用いてナビゲーション・メッシュが自動生成され、入り口、出口、目的地が自動的に設定される。ここまでの自動生成が AI Director の機能として含まれるのか、レベルデザイン側のモジュールによるものであるか、は不明であるが、AI Director の機能としてマップ自動生成を含めた形の可能性が示された点が重要である。さらに、ゲーム内では、プレイヤーを熱源としたヒートマップによる熱伝播シミュレーションが行われて各グリッドで温度が定義される。プレイヤーが近づき温度が上がって行く位置に敵キャラクターが生成される。逆に温度が下がって行く位置にある敵キャラクターは消滅される(図 9)[19]。

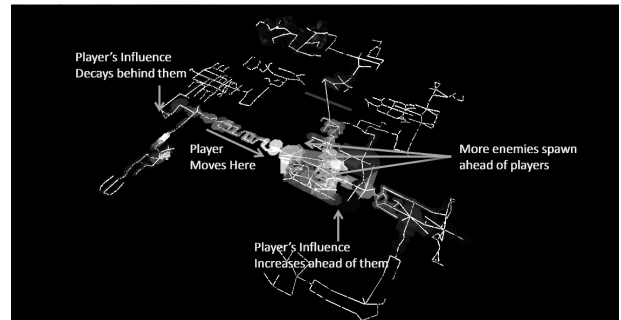


図 9. 『Warframe』におけるヒートマップ[19]

『Wargame』の AI Director の意義は、『LEFT 4 DEAD』の AI Director の技術が汎用的であることを示したこと、さらに AI Director をプロシージャル技術、ヒートマップのような動的的位置解析と結びつけた点にある。

5.3 『FarCry4』における AI Director の「動的エンカウンターシステム」

『FarCry4』(Ubisoft Montreal, 2014)⁽¹⁰⁾では AI Director を参考にして(実際に講演や解説の中で AI Director が引用されている)AI Director がプレイヤーを監視し続けて、イベントを自動生成する「動的エンカウンターシステム」が実装されている[20]。「エンカウンター」とはここではキャラクターとの遭遇、という意味であり、イベントと同義である。『FarCry4』は、広大なフィールドがシームレスにつながったオープンワールド型のゲームであり、オープンワールドにおける AI Director のあり方と効果を示した。まず4種類のキャラクター「原住民」「敵兵士」「野生動物」「仲間」を用意してイベントを作る。イベントは単体で出ること Alternatively、これらをインタラクションさせて作成する場合もある。

- (1) ジープを奪う
- (2) 野生動物を狩る(ゾウやトラ)
- (3) 動物を飼育する
- (4) 野生動物同士が争う

またより大きな一連のイベントも用意されている。たとえば、以下の一連のイベントなどである。

- (5) 見回りに行く
- (6) 捕虜を捉える
- (7) 基地に連れて行く
- (8) 拷問をする

これらは「塔」「幽閉所」「キャンプ場」「工場」「ミッションポイント」など舞台装置の近くで発生する。「エンカウンター」を特徴付けるのは地上、道路、水辺、野生区域などの地形タイプ、時刻、天気、頻度、優先度、などの条件設定、ランダムに生成される「エンカウンターリスト」である。AI Director は、多すぎず、少なすぎず、最小限の距離を置いて、場所やエリア、時刻や天候、発生頻度、エンカウンターの優先度など考慮しつつエンカウンターを生成する。「前作であれば、バグの

80%がミッションに起因するものであったが、動的エンカウンターシステムによってミッションを自動生成することで、大量のミッションを一つ一つデータとして生成するよりも大きく製作工程を効率化できた、さらに創造的な作業に集中することが可能となり、バグの量を激減することができた」と開発者は述べている[20]。『FarCry4』の AI Director は、戦闘の調整機能としての AI Director から、さまざまな敵との遭遇のバリエーションをその場で生成する AI Director へとその概念を発展させた。

5.4 『FINAL FANTASY XV』における仲間システムのメタ AI

『FINAL FANTASY XV』(スクウェア・エニックス、2016)⁽¹¹⁾ は、プレイヤーと旅をする3人の仲間に対するメタ AI が実装されている[21][22][23]。それぞれのキャラクターは自律型人工知能が搭載されており、自らのセンサー、意思決定、身体動作で行動する。しかし、戦闘や日常シーンの会話などで、いたるところで全体のコンテキストに合った行動・発言を仲間キャラクターに取らせるために、メタ AI が活用される。メタ AI は調整役としての機能である。プレイヤーと各仲間の状態を監視して、プレイヤーがピンチの時には、一番近くて都合が良い(別の敵に攻撃している最中でないなど)仲間を選んで、最優先で駆けつけるように指令を出す。戦闘中メタ AI が仲間に与える指示としては、以下のようなものがある。

- ・ プレイヤーや仲間のピンチを助けよ
- ・ プレイヤーが敵に拘束されているから助けよ
- ・ プレイヤーが逃げているから追従せよ
- ・ 作戦が発動したのでそれに合わせた行動をせよ

このような指令を最適なキャラクターに送ることによって、リアリティのある演出と緩急のある戦闘を同時に実現することを目指した。実際の結果としては、あらゆる状況においてユーザーが仲間の行動を感じ取られるわけではなく、いくつかの仲間の協調動作の印象深いシーンをユーザーが体験し、全体的な印象の向上に貢献した。また会話においては、状況に応じた会話セットをメタ AI が選択することで、その場に沿った会話の実現を目指した。戦闘の状況の有利・不利、移動、滞在中など、明確に状態を区切った制御のため、はっきりと言い分けることで、目的に沿った実装が実現できた。

ウィル・ライトの示したメタ AI はシミュレーションゲームを進行する AI であったが、アクション RPG である『FINAL FANTASY XV』のメタ AI は、仲間キャラクターへメタ AI の機能を集中させた。キャラクターの動作、会話、演出を通して、ゲームの進行をより見応えのあるものにし、ゲーム全体に渡ってユーザーの体験を変化させるように変化させた。商業ゲームの場合、全ユーザーの統計的なプレイ感想を得ることは難しい。しかし、仲間の行動に関するインターネット上の意見の中に、開発で目指した表現「仲間同士の思いやり」を感じ取った感想を得ることはできた。また、開発工程において、開発完成前の段階で、メタ AI を通してゲームデザイナーがゲ

ームを最後まで調整することができた。少なくともゲーム AI 開発工程においては質的变化と調整の自由度を向上させた。

5.5 『LOST REAVERS』における AI Director

『LOST REAVERS』(バンダイナムコエンターテインメント、2015)⁽¹²⁾は最大4人でプレイする Wii U 専用のオンラインゲームである。ダンジョンに分け入って財宝を持ち返るアクションゲームである。ステージにあらかじめ配置されたキャラクターの他に、AI Director が動的にキャラクターを配置し、敵の総数をコントロールする[24]。

開発中には、ダメージを受けたタイミング、回復したタイミングのデータと、プレイ動画から苦戦した場所と余裕な場所を見極めて、感情値の数式が決定された。その数式をゲーム内で動かしてユーザーの感情値がモニターされる。

ゲーム内では、すべてのプレイヤーから見えないナビゲーション・メッシュのエッジを検出して、生成ポイントの候補とされる。レベルスクリプトが設定する感情値に向かって、敵の生成が行われる。また4人のグループが分岐を把握し、それぞれのグループに対してメタ AI が敵生成を行う。AI Director はゲームプレイの幅を広げ、ゲームがプレイされる期間を長期化したと推測される。

『LOST REAVERS』は国内では最も早い AI Director と銘打った実装事例であり、感情値を導入した事例としても国内では最も早く、独自の工夫が為されている。AI Director がゲームデザイナーの意図を汲み形で利用されている。

5.6 SQUARE ENIX におけるメタ AI 研究

スクウェア・エニックスではメタ AI の研究が継続的に進められており、カンファレンスなどを通じて発表がされている。水野、三宅は CEDEC 2017 において、これまでのメタ AI 事例や、メタ AI に類する事例の調査の報告を行い、またそこからメタ AI が人工知能として持つアーキテクチャを提案した[25]。さらに里井、水野は GDC2019 において、そのアーキテクチャの上に、認知心理学での感情分類モデル[26]を参考に、プレイヤーの感情を「勝利への期待感(H: Hope of Winning)」と「敗北への不安感(F: Fear of Losing)」を軸とした2次元平面上のベクトル(EP: Emotion Point)で表し、ユーザーの感情を揺さぶるメタ AI システムの格闘ゲームのデモによって実装例を示した(図 11,12)[27]。本手法の新規性は、一次元の緊張度などの値のアップダウンではなく、Hope と Fear の組み合わせによってプレイヤーの多様な感情を表せる点にある(図 10)。実際の大型タイトルへも導入済みとの報告を行った(タイトル名は非公開)。

本手法は(1)プレイログやゲームワールドの状態などからプレイヤーの現在の感情(Current EP)を推測するフェーズ、(2)近い将来にプレイヤーの感情がどの点になってほしいか(Goal EP)を計算するフェーズ、(3)直近で目標とするプレイヤーの感情(Next EP)を更新し、Next EP をもとにゲームワールドや NPC へ指示を出すフェーズ、の3フェーズで構成される。たとえばアクションゲームにおいて Current EP が左下の領域にあるとき、プレイヤーは勝てそうでも負けそうでもな

い、すなわち退屈していると考えられる。このときメタ AI は感情を揺さぶろうとして Goal EP を 2 次元感情マップの反対側（興奮）に動かそうとし、その結果、敵 NPC が大技を出しやすくなり、またプレイヤーが回復アイテムを拾うチャンスが増加する。

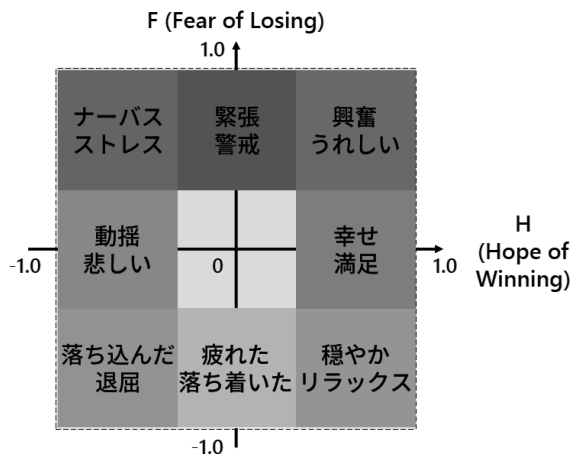


図 10. Hope と Fear の組み合わせによる感情マップ[28]

手法の概要

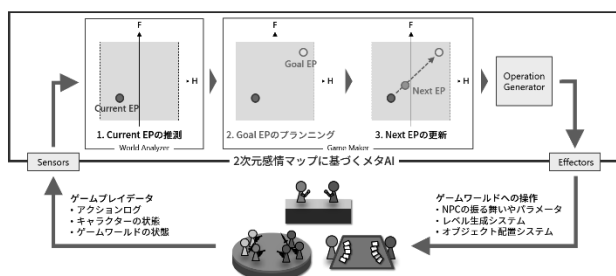


図 11.メタ AI のエージェント・アーキテクチャと EP の原理[25]

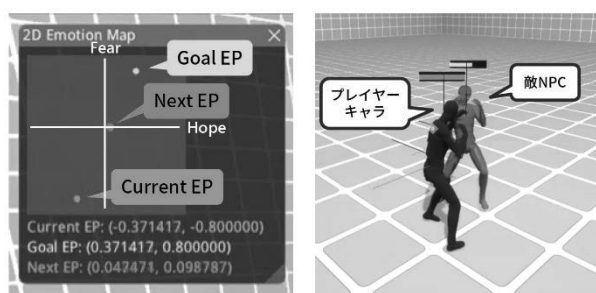


図 12. EP の原理で駆動するメタ AI によるゲームデモ[25]

本手法のゲームへの導入目的は、さまざまなスキルレベルのプレイヤーが、バトル全体を通して「少し苦戦したが、途中で投げ出すことなく頑張って敵を倒せた」と感じられるゲームバランスを実現することであった。そのため、(a)本手法の基本機能である、2 次元マップを用いたプレイヤーの感情推定が、ある程度の正確性を伴って機能すること、(b)さまざまなスキルレベルのプレイヤーがバトルを実際にクリアでき、前述した狙い通りの印象を持つこと、の 2 点を検証する必要がある。

(a)については、簡易的な思考発話法を用いてパラメータを調整することにより、妥当性のある投影が行われるようにした。具体的には、調整を担当したゲームデザイナー自身や数名の被験者が、ゲームをプレイするとともに感じたことを発話し、その様子を録画した。その後、マッピングの軌跡と発話内容とのずれを確認して調整を行った。上記の手順を繰り返すことで、マッピングの正確性を向上させた。

(b)については、インタビューを伴うテストプレイを用いて簡易的に検証した。初心者から上級者まで幅広いスキルレベルで構成された 10 名の被験者がそれぞれゲームをプレイし、クリアに至るまでのコンティニュー回数を記録するとともに、プレイ後にバトルへの印象を尋ねた。その結果、ほぼすべての被験者がコンティニューせずに、または 1～2 回のコンティニューでクリアできた。またバトルへの印象については、すべての被験者から、前述したゲームデザイナーの想定通りのポジティブな感想を得られた。

このように、本手法を用いることで、ゲームデザイナーの意図に合わせた動的なゲームデザインを実装し、ゲームプレイの体験の質がより高くなることを目指した。本手法がどの程度幅広いゲームやプレイヤーに対して妥当に機能するか、また本手法によってプレイヤーの心理的変化を十分に促せたか等は厳密に検証できておらず、今後検証すべき課題である。

本事例は、『LEFT 4 DEAD』における AI Director の用いた一次元の緊張度を二次元の EP に拡張した発展形と言える。敵キャラクターのビヘイビアを変化させるという点は、敵キャラクター群の発生数をコントロールする『LEFT 4 DEAD』と異なる点である。ゲーム全体の流れを、ユーザーの感情をベースにコントロールしている。

5.7 『Assassin's Creed Origins』におけるメタ AI

オープンワールド型のゲームにはステージ上に数百万のオブジェクトが置かれ、人間が行うとその管理コストは膨大である。単に静的に置くだけでなく、多数、動的なオブジェクトやキャラクターのゲーム中の動作を考慮して配置する必要がある。一定のルートとはいえ街の住民や旅団、護衛の兵など、自律型ではないがステージの一部として動くキャラクターたちが多数存在する。また動的に生成する敵キャラクターなども存在する。それらが衝突することなく円滑にゲーム内の役割を果たすような整合性が保証されねばならない。その確認作業は膨大である。

『Assassin's Creed Origins』(Ubisoft, 2017)⁽¹³⁾では「オブジェクト全体を管理する」「NPC やオブジェクトを生成する」「NPC の行動を管理する」ための人工知能として「メタ AI」を設定した。「メタ AI」は NPC、オブジェクトを含む全体のシステムを動的に制御する。必要な時にオブジェクトを設置し、適切なキャラクターを適切なタイミングで最適な場所から生成させる[29]。

『Assassin's Creed Origins』では、ワールド全体に移動用のルートと、キャラクターやオブジェクトを出現させる生成ポイント(spawning point)が設定されている。Meta AI は、プレイヤ

一の行動領域に従って、キャラクターとオブジェクトを生成し、それぞれのキャラクターに生活のスケジュールを与え、それぞれの職業や生活にあった振る舞いをさせる。

2010年代は、大型のデジタルゲームはオープンワールド化が顕著であり、それに伴い、ゲームAI技術もオープンワールドへの対応を迫られて来た。『FarCry4』の事例がオープンワールドに対応したAI Directorである一方で、『Assassin's Creed Origins』のメタAIは、オープンワールドに対応したメタAIである。『FarCry4』のAI Directorがプレイヤーの周囲の戦闘に特化してイベントを発生させるのに対して、『Assassin's Creed Origins』のメタAIはゲーム全体の状況を管理し、プレイヤーを含む大きな領域全体のイベントを、整合性をもって発生させる。オープンワールドのゲームシステムをAI化し、オープンワールドで「メタAI」の活用の仕方を示した。しかし、いくつかの非整合性があるシチュエーションの例も示されており、生成的システムの整合性の実現が難しいことも、また示唆している。

6. 考察

本章ではこれまでの事例をベースに、メタAIとAI Directorを比較し、両者の特徴を明確にすることで、両者に新しく定義を与える。メタAIもAI Directorも発展中の概念であるから、これから定義が変化して行くと思われるが、現時点での定義を与えることは、これからのメタAI、AI Directorの開発・研究に役立つと考えられる。さらに、この両者の発展が、いかにゲーム開発を変えて行くかを考察する。

6.1 メタAIとAI Directorの関係

第3章で示したエージェント・アーキテクチャの構造をもとに、第2、4章の事例の「使っている名称」「センサー領域」「意思決定事項」「エフェクタの影響範囲」を表2に年代順にまとめた。

AI Directorは、エフェクタとしてキャラクターに特化しており、メタAIのエフェクタはキャラクター及びゲーム世界全体である。そこで形式的には、AI DirectorはメタAIに含まれる概念と言うことになる。AI Directorは、戦闘と非戦闘時間の緩急をつける仕組みとして始まり、それ以降も戦闘を中心としたイベントレベルの調整役を果たしている。

一方、メタAIの始まりはゲームシステム全体或いは一部の自律化にあった。つまりゲームデザイナーが一挙手一投足スクリプトを書かなくても、ゲームがそれ自身の法則で動き出し発展するのが『シムシティ』『The Sims』『Spore』であり、『FINAL FANTASY XV』のメタAIも戦闘だけでなく、会話全般や、通常の位置取りを決定している。そして『Assassin's Creed Origins』のメタAIは、ゲーム全域のオブジェクトとキャラクターをコントロールしている。メタAIはゲームシステムレベルの自律化である。

AI DirectorとメタAIでは、指向される目標が異なる。AI Directorはユーザーの体験を指向しているのに対して、メタAIはゲーム全体の整合性(consistency)が指向されている。ここで言う整合性とは、ゲームとして自然である、世界観とし

てリアリティがある、という意味である。『FINAL FANTASY XV』では場面に沿った会話が、『Assassin's Creed Origins』では場所に応じたキャラクターの振る舞いがメタAIを通じて実現されている。

表2. メタAI、AI Directorの比較

ゲームタイトル 分類名	名称	センサー範囲	意思決定 (決定すること)	エフェクタ (影響範囲)
バックマン	波状攻撃	ゲーム状態	プレイヤーを包囲する・しない	敵キャラクター
岩谷徴	レベル自動 コントロール システム	ユーザーのスキル (命中率や到達率)	ゲームの難易度	敵キャラクター
ゼビウス	AI	ユーザーの進行度	出現する敵テーブルの 開始点	敵キャラクター
シムシティ	メタAI	ゲーム状態	街の発展	ゲーム世界全体(街)
The Sims	メタAI	ゲーム状態	キャラクター生成・街の 発展	ゲーム世界全体(街・ 人)
Spore	メタAI	ゲーム状態	キャラクター、森、惑星 の創造	ゲーム世界全体(宇宙)
LEFT 4 DEAD	AI Director	ユーザーの緊張 度・位置 ユーザーのスキル	予測経路・配置キャラ クター・配置タイミング・ 配置場所	敵キャラクター
Warframe	AI Director	ユーザーの緊張 度・位置	予測経路・配置タイミ ング・配置場所	敵キャラクター
FarCry4	AI Director	ユーザーの行動口 グ 場所の情報	発生させるイベントの 種類・場所・タイミング	プレイヤー以外の 全てのキャラクター
FINAL FANTASY XV	メタAI	プレイヤー・キャラ クターと仲間、周囲 の状況	仲間キャラクターの振 る舞い	仲間キャラクター
LOST REAVERS	AI Director	ユーザーの感情値 プレイヤーの周囲 の状況	敵キャラクターの出現 位置・数	敵キャラクター
SQUARE ENIX	メタAI	ユーザーの EP (Emotion Point)	目標となるEPの座標と、 それに伴う敵キャラク ターの行動	敵キャラクター
Assassin's Creed Origins	メタAI	プレイヤー・キャラ クターの位置	発生させるエリア・オブ ジェクト・ キャラクター	ゲーム世界全体 (オブジェクト・キャラク ター)

6.2 メタAIとAI Directorの再定義

AI Directorは『LEFT 4 DEAD』という明確な出発点を参照されながら発展しているのに対して、メタAIは、岩谷[4,5]、遠藤[6]の仕事以来、断続的に同じアイデアが再生産されながら同じ概念にたどり着いたと考えられる。その結果、メタAIは事例ごとに概念の揺れ幅が大きく、一方でそれがメタAIという言葉が広く大きく抽象的な領域を指す言葉となっている。ここで、これまでの歴史的経緯を含めて、メタAIとAI Directorに再定義を与える。

メタAI: ユーザーを含めたゲーム全体の状況を認識し、目的に沿ったゲームシステム(ゲームの流れ、ゲームデザイン、レベルデザイン)の整合性、難易度を実現するために、ゲーム全域(キャラクターやオブジェクトの配置、動作、イベント、地形)を自律的システムへと変化させる。

AI Director: 戦闘を始めとするユーザーの周囲の局所的かつ限定された時間のイベントにおいて、ユーザーの周囲の状況を認識し、敵・味方を含めたキャラクターに指示を与えることで、目的に沿ったユーザー体験を実現する。

6.3 定義の適用性

6.2で与えた定義から、デジタルゲームの歴史を調査すると、これまで「メタAI」「ディレクターAI」という名称で呼ばれていなかったものの、該当する技術をいくつかのタイトルに見出すことができる。

『The Elder Scrolls IV: Oblivion』⁽¹⁴⁾(Bethesda Game Studio, 2006)、『The Elder Scrolls V: Skyrim』⁽¹⁵⁾(Bethesda Game Studio, 2011) では「Radiant AI」「Radiant Stories」が実装されている[30]. 「Radiant AI」は、プレイヤーの行動履歴から NPC の行動を変化させる. 「Radiant AI」によって NPC たちは一日のスケジュールを持ちながらも、プレイヤーの行動履歴と特性に応じてプレイヤーとのインタラクションを変化させる. 「Radiant Stories」はプレイヤーの行動履歴からクエストを自動生成し、NPC にロールを割り当てる. 「Radiant AI」は AI Director レベルの機能であり、「Radiant Stories」はメタ AI レベルの機能である. 「Oblivion」から「Skyrim」へ向けて、「Radiant AI」から「Radiant Stories」が発展した.

『Shadow of Mordor』⁽¹⁶⁾(Monolith Productions, 2014)、『Shadow of War』⁽¹⁷⁾(Monolith Productions, 2017) は、一度倒した敵キャラクターが、プレイヤーとの戦闘の履歴を反映した経験と外見を持って復活し復讐しに来る. このシステムは Nemesis System と呼ばれる[31]. プレイヤーの倒し方が外見に残され、さらにプレイヤーに突かれた弱点が強化される. これは、本論文の定義の「メタ AI」に相当する.

『Forzamotor Sports』⁽¹⁸⁾シリーズ(Turn 10 Studios, 2005-)は強化学習によって[32]、『Killer Instinct』⁽¹⁹⁾(Rare, 2013)はケースベースラーニングによって[33]、『SAMURAI SPIRITS』⁽²⁰⁾(SNK, 2019)はニューラルネットワークによって[34]、プレイヤーの行動履歴から、プレイヤーの行動の癖を学習したプレイヤーの分身を作り出し、プレイヤーと対戦させる機能を持っている. 『Forzamotor Sports』シリーズでは「Drivatar」システム、『Killer Instinct』では「Shadow」システムと呼ばれる. これはゲームのログをゲーム進行とは異なるゲームの外側に逃がした上で、機械学習を行い、再びゲームへと干渉することから「メタ AI」と解釈することができる.

今後、機械学習のデジタルゲームへの応用が増加する中で、「メタ AI」は、機械学習の一つの応用の方向を示し、導入の可能性を広げると予想される.

このように、新しく定義した 6.2 からデジタルゲームを見ると、これまでのゲームタイトルでも「メタ AI」「AI Director」と呼ばれてはしていないが、該当する事例の系譜を見出すことができる. このように「メタ AI」「AI Director」の定義は、ゲーム開発の歴史の中に該当する流れを明らかにすると同時に、これからの応用の在り方を示す意義を持つ.

6.4 ゲームジャンルとメタ AI、AI Director

これまで述べてきたように、メタ AI は 2D シューティングゲーム(『ゼビウス』など)、シミュレーションゲーム(『シムシティ』『The Sims』『Spore』など)、アクション RPG(『FINAL FANTASY XV』など)、3D アクションゲーム(『Assassin's Creed Origins』など)、AI Director は、3D シューティングゲーム(『LEFT 4 DEAD』『Warframe』など)、3D アクションゲーム(『FarCry4』など)など幅広いゲームジャンルで利用されてきた. メタ AI、AI Director はゲームシステムが行う選択に介入するシステムとも言える. 本論文で挙げられていないゲームジャンルであっても、複数の行動をとり得るキャラク

ターや複数の状態をとりうるオブジェクトが存在するならば行動や状態への介入を通じて、その導入は可能である.

たとえばプレイヤーと一対一でボードゲームをするプログラムにメタ AI を導入するには、ゲームの進行状況に応じて敵キャラクター側がゲーム木探索の深さを変化させる、すなわち意思決定の精度が変動する仕組みを追加する方法が考えられる.

またカードゲームでは、AI Director は、プレイヤーが出していないコンボ技(カードを揃えると発動する)を認識し、敵キャラクターにその技を出させて見せた上で、山札を操作することで、プレイヤーの手元にそのコンボを出すチャンスを作る. それによって、プレイヤーの不得意なコンボ技を学習させる、などが考えられる.

メタ AI は、キャラクター AI やナビゲーション AI と同様に応用範囲の広いゲーム AI であると言える.

6.5 ゲーム開発者、ゲーム開発との関係性

ほとんどのゲームは、それがリリースされた時点でゲームの内容は乱数などランダムを用いる箇所を除いて定まっている. 敵の配置、出現タイミング、難易度、動き、役割などである. 乱数によってパラメータを変化させることで、小さな差異をプレイごと作り出すことはできる. しかし、メタ AI はゲームシステムレベルで、AI Director はゲームイベントレベルで、ゲームコンテンツへさらに動的により大きな変化をもたらす人工知能である.

7. まとめ

ゲーム開発は、ゲームを直接作り込むところから、メタ AI、AI Director を作り込むことによって、多数のバリエーションを持ちながらも整合性のあるコンテンツをその場で動的に自動生成する方向に発展している(表 3)(図 13).

表 3. ゲームの静的から動的なシステムへの変化

ゲーム内分野	静的	動的
オブジェクトの運動	運動曲線など静的データ	物理シミュレーション
地形・自然物・街など	固定モデル	プロシージャル技術による生成・変形
キャラクターの移動	固定パス	ナビゲーション AI
キャラクターの思考	スクリプティッド AI	自律型 AI
ゲームイベント(戦闘、エンカウントなど)	開発中に作成・固定	AIディレクター(ユーザーを観察しつつ動的に生成・変化)
ゲーム	開発中に作成・固定	メタ AI(ゲーム状況を観察しつつ動的に生成・変化)

本論文は、これまで整理されて来なかったこれらの技術を整理し、再定義し、本分野を独立した一つのゲーム AI 技術として提示した. しかし本分野はなお応用と発展の途上にあり、暫定的な定義とまとめである. 今後、これからのゲーム研究及びゲーム産業における一層の研究と開発の可能性を有している. そのために両者の歴史と機能、さらなる発展の可能性の方向を示した.

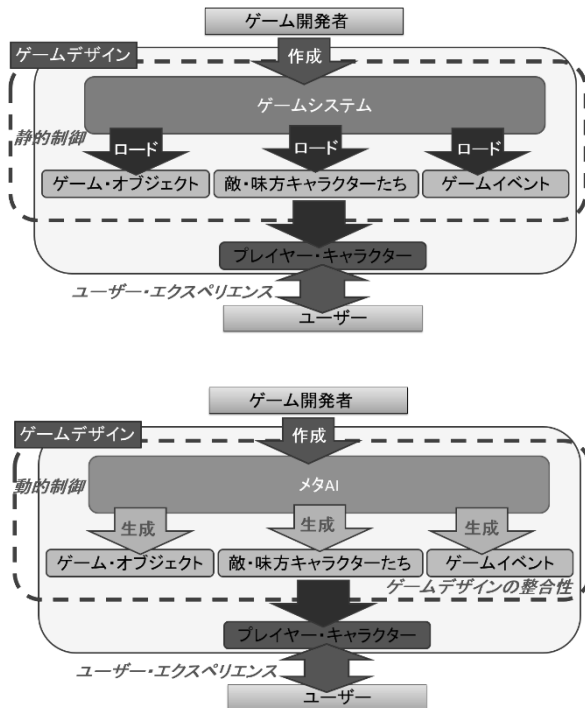


図 13. 従来のゲームシステムとメタ AI による新しいゲームシステム

参考文献

- [1] 三宅陽一郎 (2015) デジタルゲームにおける人工知能技術の応用の現在, 人工知能, Vol.30, No.1 pp.45-64.
- [2] Snook, G.(2000) Simplified 3D Movement and Pathfinding Using Navigation Meshes, Game Programming Gems, Charles River Media, 2000, pp. 288-304.
- [3] Russell, S, Norvig, P. (2009) Artificial Intelligence: A Modern Approach, Third Edition, Prentice Hall.
- [4] 岩谷徹 (2005) セルフゲームコントロールシステム, 「パックマン」岩谷氏, 「Rez」水口氏ら 4 人のクリエイターが語る世界のゲームデザイン論「International Game Designers Panel」
http://game.watch.impress.co.jp/docs/20050312/gdc_int.htm (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [5] 岩谷徹 (2019) ゲーム AI の原点『パックマン』はいかにして生み出されたのか?: 岩谷 徹インタビュー, 人工知能, Vol.34, No.1 pp.86-99.
- [6] 遠藤雅伸 (1987) 糸井重里のテレビゲーム大観覧会『遠藤雅伸ゼビウスセミナー』(1987 年, フジテレビ)
- [7] Wright, W. (2005) AI: A Design Perspective, AIIDE(AI and Digital Entertainment 2005)
- [8] ウィル・ライト, 多摩 豊 (1990) 「シムシティの仕組み」ウィル・ライトが明かすシムシティのすべて (コンプコレクション), pp.46-49. 角川書店
- [9] Forbus, K (2002) Simulation and Modeling: Under the hood of the Sims, Northwestern University, Lecture note
http://users.cs.northwestern.edu/~forbus/c95-gd/lectures/The_Sims_Under_the_Hood_files/v3_document.htm (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [10] Hecker, C., et al. (2008) Real-time motion retargeting to highly varied user-created morphologies, Proc. ACM SIGGRAPH 2008, Vol. 27, Issue 3
- [11] Hecker, C (2009) Spore Behavior Tree Docs .
http://chrishecker.com/My_liner_notes_for_spore/Spore_Behavior_Tree_Docs (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [12] Isla, D., Burke, R., Downie, M. and Blumberg, B. (2001) A layered brain architecture for synthetic creatures, Proc. IJCAI
- [13] Isla, D. and Blumberg, B.(2002) Blackboard architectures, AI Game Programming Wisdom, Vol. 1, No. 7.1, pp. 333-344
- [14] Booth, M. (2009) From COUNTER-STRIKE to LEFT 4 DEAD: Creating Replayable Cooperative Experiences, GDC 2019
<https://www.gdcvault.com/play/1422/From-COUNTER-STRIKE-to-LEFT> (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [15] Booth, M. (2008) Replayable Cooperative Game Design: Left 4 Dead, GDC 2009, <https://www.valvesoftware.com/ja/publications> (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [16] Booth, M. (2009) The AI Systems of Left 4 Dead, AIIDE .
<https://www.valvesoftware.com/ja/publications> (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [17] Ambinder, M. (2011) Biofeedback in Gameplay: How Valve Measures Physiology to Enhance Gaming Experience, GDC 2011, <https://www.valvesoftware.com/ja/publications> (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [18] Brewer, D. (2013) AI Postmortems: Assassin's Creed III, XCOM: Enemy Unknown, and Warframe, GDC 2013
<http://www.gdcvault.com/play/1018223/> (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [19] Brewer, D. (2014) The living AI in warframe's procedural space ships, Game AI Conference (2014)
<https://archives.nucl.ai/recording/the-living-ai-in-warframes-procedural-space-ships/> (最終確認日:2016 年 12 月 1 日)
- [20] Varnier, J. (2014) Far Cry's AI: A Manifesto for Systemic Gameplay, Game / AI Conference 2014,
<https://archives.nucl.ai/recording/far-crys-ai-a-manifesto-for-systemic-gameplay> (最終確認日:2016 年 12 月 1 日)
- [21] 上段達弘, 下川和也, 高橋光佑, 並木幸介 (2016) FINAL FANTASY XV におけるレベルメタ AI 制御システム, CEDEC 2016, https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/1544 (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [22] Prasertvithyakarn, P. (2018) Walk Tall, My Friends: Giving Life to AI-Buddies in 'Final Fantasy XV', GDC 2018
<https://gdcvault.com/play/1025442/Walk-Tall-My-Friends-Giving> (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [23] 三宅陽一郎(2017), 大規模ゲームにおける人工知能 ―ファイナルファンタジー X V の実例をもとに―, 人工知能, Vol.32, No.2 pp.197-211.
- [24] 長谷洋平 (2016), LOST REAVERS における AI Director の試み, CEDEC 2016, https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/1475 (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [25] 三宅陽一郎, 水野勇太 (2017) 人工知能(メタ AI)を用いたゲームデザインの変革, CEDEC 2017
https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/1757 (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [26] Watson, D. and Tellegen, A.(1985) Toward a consensual structure of mood, Psychological Bulletin, Vol.98, pp.219-235
- [27] Sato, D, Mizuno, Y. (2019) Changing the Game: Measuring and Influencing Player Emotions Through Meta AI, GDC 2019
<https://www.gdcvault.com/browse/gdc-19/play/1026416> (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [28] 里井大輝 (2019) 感情を揺さぶるメタ AI ～ゲームへの実装方法とバランス調整への応用事例～, CEDEC 2019,
https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/2013 (最終確認日:2019 年 10 月 1 日)
- [29] Lefebvre, C. (2018) Virtual Insanity: Meta AI on 'Assassin's Creed: Origins', GDC 2018
<https://www.gdcvault.com/play/1025410/Virtual-Insanity-Meta-AI-on> (最終確認日:2019 年 7 月 1 日)
- [30] Nesmith, B. (2012). Radiant Story. Game Design Expo, Vancouver

Film School., <https://www.youtube.com/watch?v=Ou6SB8dWKjw>
(最終確認日:2019年10月1日)

[31] Upgrading the Nemesis system for Middle-earth: Shadow of War (2017),
https://www.gamasutra.com/view/news/305601/Upgrading_the_Nemesis_system_for_Middleearth_Shadow_of_War.php
(最終確認日:2019年10月1日)

[32] Herbrich, R, Graepel, T., Botea, A., (2008) "Halo, Xbox Live The Magic of Research in Microsoft Products", Microsoft Research, 2008.
<https://www.microsoft.com/en-us/research/project/video-games-and-artificial-intelligence/> (最終確認日:2019年10月1日)

[33] Hayles, B. (2015) Case-based Reasoning for Player Behavior Cloning in Killer Instinct, nucl.ai Conference

[34] 泊久信 (2019) ニューラルネットワークを用いた AI の格闘ゲームへの組み込み, GCC2019,
<https://docs.google.com/presentation/d/1OLHwB3Pt4gSU24xUuVktOz7RPkCeh0Hwa1VxiGBMID8> (最終確認日:2019年10月1日)

ゲーム

- (1) 『パックマン』, ナムコ, 1980. (アーケード)
- (2) 『ゼビウス』, ナムコ, 1983. (アーケード)
- (3) 『バンゲリング・ベイ』, Broderbund, ハドソン, 1985 (FC)
- (4) 『シムシティ』, MAXIS, 1989 (PC)
- (5) 『The Sims』, MAXIS, EA, 2000 (PC)
- (6) 『Spore』, MAXIS, EA, 2008 (PC)
- (7) 『LEFT 4 DEAD』, Valve Software, 2008 (PC)
- (8) 『Counter Strike』, Valve Software, 1999 (PC)
- (9) 『Warframe』, Digital Extremes, 2013 (PS4, Xbox One, PC)
- (10) 『Far Cry4』, Ubisoft Montreal, Ubisoft (PC, PS3,4, Xbox 360, one)
- (11) 『FINAL FANTASY XV』, SQUARE ENIX, 2016 (PS4, Xbox One, PC)
- (12) 『LOST REAVERS』, バンダイナムコエンターテインメント, 2015 (WiiU)
- (13) 『Assassin's Creed Origins』, Ubisoft Montreal, Ubisoft (PC, PS4, Xbox One)
- (14) 『The Elder Scrolls IV: Oblivion』, Bethesda Game Studio, 2006 (PC, PS3, Xbox 360)
- (15) 『The Elder Scrolls V: Skyrim』, Bethesda Game Studio, 2011 (PC, PS3,4, Xbox 360, one, Switch)
- (16) 『Shadow of Mordor』, Monolith Productions, 2014 (PC, PS3,4, Xbox 360, one, Switch, LINUX, Classic MacOS)
- (17) 『Shadow of War』, Monolith Productions, 2017 (PC, PS4, Xbox one)
- (18) 『Forzamotor Sports』, Microsoft, 2005 (Xbox)
- (19) 『Killer Instinct』, Microsoft, 1994-2020 (Xbox, Xbox One, PC)
- (20) 『SAMURAI SPIRITS』, SNK, 2019 (PS4)

PlayStation®4 はソニー・インタラクティブエンタテインメント社の商標または登録商標です。

Xbox One, Xbox 360 はマイクロソフト社の商標または登録商標です。
ファミリーコンピュータは任天堂社の商標または登録商標です。

『パックマン』『ゼビウス』『LOST REAVERS』は BANDAI NAMCO Entertainment Inc.の商標または登録商標です。

『バンゲリング・ベイ』は Broderbund の商標または登録商標です。

『SAMURAI SPIRITS』は SNK CORPORATION の商標または登録

商標です。

The Sims is a trademark or registered trademark of Electronic Arts Inc.

Spore is a trademark or registered trademark Electronic Arts Inc.

SIMCITY is a trademark or registered trademark Electronic Arts Inc.

LEFT 4 DEAD is a trademark or registered trademark of Valve Software.

Counter Strike is a trademark or registered trademark of Valve Software.

Warframe is a trademark or registered trademark of Digital Extremes Ltd.

Far Cry 4 is a trademark or registered trademark of Ubisoft.

FINAL FANTASY XV is a trademark or registered trademark of SQUARE ENIX CO., LTD.

Assassin's Creed Origins is a trademark or registered trademark of Ubisoft.

The Elder Scrolls IV: Oblivion is a trademark or registered trademark of Bethesda Game Studio.

The Elder Scrolls V: Skyrim is a trademark or registered trademark of Bethesda Game Studio.

Shadow of Mordor is a trademark or registered trademark of Monolith Productions.

Shadow of War is a trademark or registered trademark of Monolith Productions.

Forzamotor Sports is a trademark or registered trademark of Microsoft.

Killer Instinct is a trademark or registered trademark of Microsoft.

All other trademarks are the property of their respective owners.

(2019年7月7日受稿、2020年3月13日採択)