

解説

オンラインゲームにおける人工知能・プロシージャル技術の応用

三宅 陽一郎*

1. オンラインゲームが要求するもの

1.1 オンラインゲームの発展

オンラインゲームの世界はオフラインにはない、複数のユーザーとNPCが織り成す世界であり、ゲームデザインにおいても、それと関連するAI・プロシージャル技術(自動生成、自動制御技術を指す[1])においても、新しくゲームの世界の地平を切り拓く可能性を持っている。

オンラインゲームは、その黎明から15年ほどの歴史の中で、新しいゲームデザイン、新しい技術的応用の領野を少しずつ探求・拡大して来たが、まだ、その入り口のほんの最初の広間に出たという段階である。現在はそこから様々な方向へ探求をすることが、待たれている。その探求の鍵の一端を握るのが、AI・プロシージャル技術である。

オンライン上に構築される仮想空間・環境がゲームとして成立するためには、ゲームデザイン、レベルデザイン(狭義にはゲームステージのデザイン、広義にはAIやギミックまで含めたステージ全般のゲームデザインを指す。本論文では前者の意味で用いる)、AIにおいて、オフラインとは異なる仕組みと構造が必要である。ここでは、オンラインゲームにおいて新しく要求される本質的に課題を3つに分けて説明する。

1.2 オンラインゲームの3つの基本課題

一つ目は、より深いリアリティである。オフラインゲームに比べ、オンラインゲームのレベルデザインもAIも、複数のユーザーの視線とプレイに耐え得る深いリアリティを持つ必要がある。複数のユーザーと協調するマルチエージェント技術のオンラインゲームにおける事例について、第2～4章で解説する。

二つ目として、コンテンツの可塑性・拡張性である。オフラインとオンラインではゲーム・コンテンツの消費のされ方が異なる。オフラインゲームは一定の

コンテンツを順番に消化することによってクリアされるが、オンラインゲームは、比較的長時間、長い場合には数年に渡って、同一の世界の中でプレイがくり返されるために、クエストや新規マップによるコンテンツ拡張・変化が可能でなければならない。この課題に対して、マップ・クエストデータを追加し続けるという手法がある一方で、プロシージャルに(計算やアルゴリズムによって)ステージを自動生成するという手法が幾つかのゲームで導入されており、将来有望な技術として注目を集めると同時に、複数の企業で研究が進められている。この実例を、第6～8章で解説する。

三つ目に、プレイヤーとNPCが織り成す仮想空間上の社会を、よりリアルに演出する技術である。特にRPGのように、仮想世界でプレイヤーとNPCが生活する環境においては、実際の社会で見られるような社会現象の再現によって、ゲーム世界をより深みにあるものへ変貌させることが出来る。その顕著な例が、プレイヤーの行動に応じてゲーム世界の社会の反応が変化する「評判システム」である。この豊富な具体例を第9章で紹介する。

さらに上記ゲーム内の構造以外に、オンライン対戦型ゲーム(対戦シミュレーションや格闘ゲームなど)では、大量のログインユーザー、ユーザーチームの中から、実力に応じた対戦相手を見出すという課題が存在する。人気タイトルでは、ユーザー数の規模は数百万に登る。そのため、プレイヤー・マッチング機能は、対戦がワンサイドにならず緊張感のあるゲームを継続して成立させて行くために必要な技術である。この例については、第5章で説明する。

最後に、ゲーム開発の補助として、オンラインによるデータ収集とデータマイニングを利用する例を第10章で解説する。第11章では、オンラインをデータ交換にだけ用いるプロシージャル技術を利用した新しいゲームデザインについて紹介する。

オンラインゲームが内包するゲームの可能性は、この15年の探求によって序々に明らかにされて来た。ここでは、実際に新規技術が導入されたゲームタイトルの事例に基づき解説して行く。

* Youichiro MIYAKE
株式会社フロム・ソフトウェア
FromSoftware, Inc.

2. クロムハウنزにおけるマルチエージェント技術

2.1 オンラインモードの台頭

現代の殆どの大型コンシューマーゲーム（家庭用ゲーム）では、一つのタイトルにオフラインモードとオンラインモードが組み込まれている。オフラインモードがメインで、オンラインコンテンツはオマケ程度の場合もあれば、FPS(First Person Shooter, 一人称視点シューティングゲーム)を始めとする3D対戦型ゲームのように、オフラインモードをチュートリアルとして、オンライン対戦モードが主要なコンテンツである場合も多い。現在、ゲーム・コンテンツ全体で、オフラインに対してオンラインモードへの比重を強め続けており、この推移と共に、オンラインゲーム世界の中で活躍する能力を持つNPC（ノン・プレイヤーキャラクター、プレイヤー以外のAIで駆動するキャラクター。他にAI、ボット、エージェントと呼ばれるが、デジタルゲームにおいては全て同義である）の開発が促されて来た。

2.2 階層型ゴール指向エージェント

クロムハウنز（フロム・ソフトウェア、2006年、図1）[2]は、ロボットを操作する3Dアクションゲームであり、機体の大きさを20mとして数キロメートル四方の3D空間のマップを舞台に戦闘を行う。チュートリアルとなるオフラインモードと、プレイヤーがチームを組んでチーム同士で対戦するオンラインモードが実装されている。

オンラインモードではプレイヤー同士のチーム対戦に加えて、AIチームとプレイヤーチームが最大15分間、戦うことが出来るモードが準備されている。このオンラインモードは、オフラインモードのようにプレイヤーが辿る順序に従って敵を配置しているだけではなく、長時間、広大なフィールドを自律的に行動する自律型知性を持つエージェントが必要とされる。さらに、チームとしてエージェント同士が連携させることが必要である。

エージェント・アーキテクチャとは、環境とAIの内部状態を明確に分け、センサーから得た情報から世界に対する認識を構築し、意思決定をし、身体動作を決定し、エフェクター（身体など）を通して、世界に影響を及ぼし、その世界から再びセンサーによって情報を獲得するAI構造のことである（図2）[3, 4, 5]。

クロムハウنزの各エージェントはエージェント・アーキテクチャを基本フレームとして、意思決定に階層型ゴール指向プランニングの思考が採用されている[6]。



図1 クロムハウنزのゲーム画面 [2]

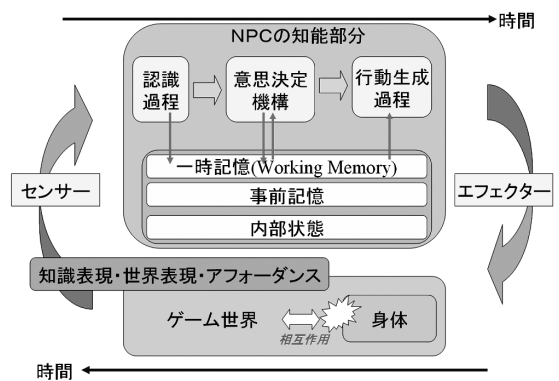


図2 エージェント・アーキテクチャ [3, 4, 5]

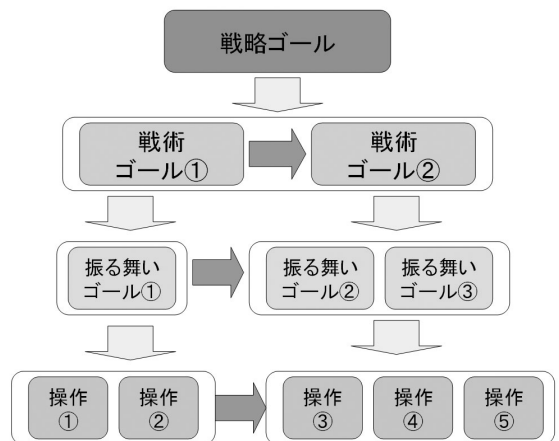


図3 階層的にゴールが分解されて行く模式図 [8]

階層型ゴール指向プランニングは、意思決定によって選択された戦略ゴール（最も大きな目標、ここでは全戦略ゴールを評価式によって評価し最大値を取ったゴールを選択する）を達成するために、状況に応じて

より小さなゴールへ順番に階層を経て分解して行く。そして最終的に小さな操作の序列を生成する(図3)。これを、逐時実行して行くことで、戦略ゴールが達成されることになる。このように、階層型ゴール指向プランニングによって、各エージェントは、自分で大きなゴールを決定し、分解によって小さな行動の序列を生成し実行することで、抽象的なゴールを達成する計画行動能力を獲得することになる[7]。

2.3 ゴール指向によるエージェントの協調

プレイヤーチームに勝利するには、各エージェントが連携することが必要である。行動を連携させるための思考モジュールとして、チームAIを導入する。

クロムハウズにおけるチームAIは、エージェントの選択すべき戦略ゴールをセットにした「チーム戦略ゴール」を構成し、4つのチーム戦略ゴールから状況に応じて1つを選択する思考を行う。選択されたチーム戦略ゴールに含まれる戦略ゴールを、適切なエージェントに割り当てることで複数のエージェントが共通したゴールを選択し協調する仕組みである(図4)。

例えば、チーム戦略ゴール「敵基地攻撃」は、3つの

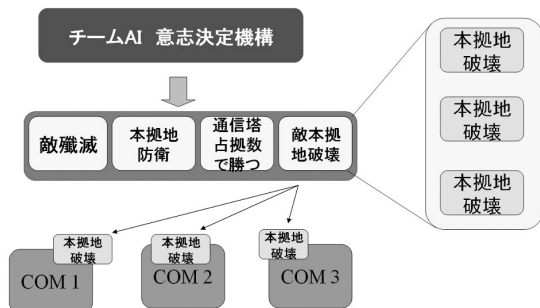


図4 チームAIによる戦略ゴールの割り当て [6]

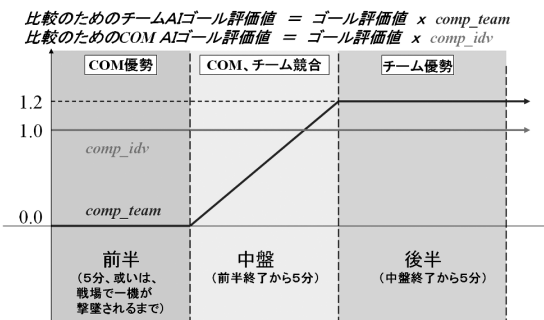


図5 ゲーム進行とチームAIの影響力の上昇 [8]

「敵基地攻撃」戦略ゴールからなり、最も適切なメンバー(ここでは、敵基地に近く戦力のあるNPCたち)を選択してゴールを割り当てる。ゴールを割り当てられたエージェントは、現在実行中のゴールを再評価した値と、割り当てられたゴールの評価値を比較して、評価値の大きな方のゴールを選択する(つまり命令への拒否権を持つ)。これはチームの大局的な判断とNPCの局所的な判断を競合させ、双方の自由度を競合しつつ保つためである。

チームAIはゲームの終盤で勝敗を決するタイミングで最も効果的に働かせる必要がある。一方で、個のエージェントの局所戦闘がメインとなる前半には、チームAIの統率力はそれ程必要ではない。

そこで、チームAIが割り当てるゴールとNPCが実行中のゴールを比較する段階で、チーム側の評価値に変動ファクターをかけてチーム制御の強さを調整する。変動ファクターは序盤ではゼロ、中盤で序々に上昇、後半では1.2に固定し、チームAIの力が、中盤から後半にかけて強まるように設定している(図5)。

この仕組みによって、前半から中盤では、分散した戦力によって各個撃破されていたNPCは、終盤に向けて戦力を結集することでプレイヤーを撃退する。これは、実際の勝率を向上させるだけでなく、「勝利へ向かう意志をプレイヤーに表現する」という演说的効果も持つ[8]。

3. Killzone2 の戦況解析を行うAI

3.1 個体ボットのエージェント・アーキテクチャ

「Killzone 2」(Guerilla Games, 2009)はFPSのゲームであり、オフラインモードとオンラインモードを持つ。オフラインモードの中には、8体と8体のチーム対戦があり、1体はプレイヤーであるが、残りの15体はAIによって動作する。また、オンラインモードにおいては、最大32人が2チームに分かれて戦闘することが可能である。メンバーが足りない場合には、ボット(プレイヤーの代わりをするAI、NPCと同義)を参戦させて戦わせることが出来る。即ち、AIとプレイヤーの混成のチームが編成される。ただ、「Killzone 2」の場合、AIとプレイヤーが直接的な連携をするよりは、AI同士の連携のみが実装されている。以下に個々の自律型エージェントの仕組みと集団を制御するAIの仕組みを解説する。

個々のボットは、個体として局所的戦闘を行う知能と、集団行動を行うための社会的に連携する知能のモードを有している。各ボットの個体はエージェント・アーキテクチャの形で、内部構造が構築されており、センサー(感覚)から取得した周囲の環境情報から

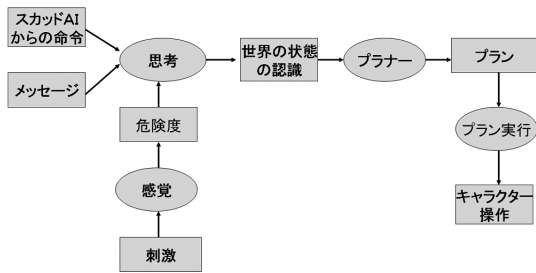


図6 各ボットの思考アーキテクチャ [10]

周囲の局所的世界の状態を認識し、HTN(Hierarchical Task Network) [9] によって、一連の行動タスク計画を生成し、基本はその計画に則って行動する。一方、自身の属するスカッド(小隊)からの命令やメッセージを受信し、世界の状態の認識を更新する機能、命令に則って行動する機能を有している(図6) [10]。

3.2 集団としての階層型組織構造

ボットの集団は三階層の構造で組織化されている。各ボットは、各スカッド(小隊)に属し、スカッドとして集団行動を行う。スカッドは複数編成され、各スカッドにはスカッドAIというスカッドを制御するAIが実装されており、複数のメンバーの行動を統括する。さらに、複数のスカッド全体を制御するストラテジーAI(戦略AI)が存在し、各スカッドに命令を下す(図7)。

スカッドAIもまた各ボットと同様、エージェント・アーキテクチャを持ち、ボットのようにセンサーを持つことはないが、スカッドメンバーのボットから受け取るメッセージから、マップ全体の中規模的な状況を認識し、さらに上位のストラテジーAIから戦略方針命令を受けて、命令を遂行すべく各ボットへ命令を下す(図8)。最上位のストラテジーAIは、各スカッドAIからの情報、各ボットからの情報を総合して、戦場全体の状況を把握して判断を下す[10]。

Killzone 2のAIの意思決定のアルゴリズムは、各ボットにおいてもチームAIにおいてもHTNプランナーが採用されている。プランニングは「現在、過去の記憶から認識した世界の状態に基づき、未来の一定期間における行動を構築する技術」であり、HTNプランナーは、階層的に遂行するべきタスク列を生成するアルゴリズムである[9]。

オンラインゲームに限らず、デジタルゲームAIにおいて、プランナーはこれからのゲームAIの技術フレームの最重要な項目である。これまで、様々な種類のプランナーがデジタルゲームに応用されて来た[11]

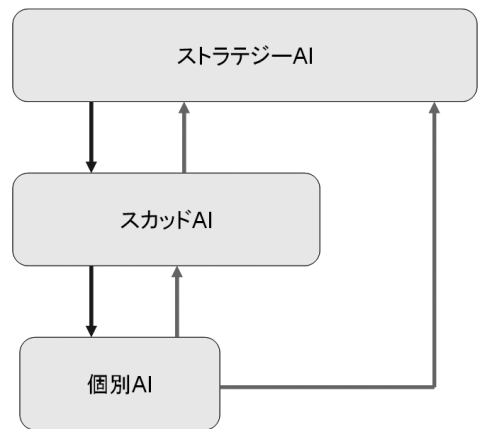


図7 ボットの組織階層と情報ネットワーク [10]
下向きの矢印は命令、上向きの矢印は取得した情報の報告を表す

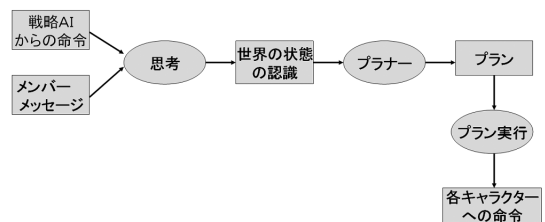


図8 スカッドAIの思考アーキテクチャ [10]

[3, 4, 12, 13]。複雑化するゲーム世界の中で適切な行動を産み出すための意思決定アルゴリズムとして、プランナーをコアとする思考システムは、中心を担うに値する機能と多様性を持っている。学術的には、長い歴史を持つプランニングの研究であるが、それをアクションゲームのようなリアルタイムに連続的に変化する環境において有効に動作するように適用することが、ゲームAI分野における課題であり、産と学の間に渡るゲームAIの大きな研究テーマの一つである。

3.3 ストラテジーAIと戦局把握

ストラテジーAIは戦局全体から、各スカッドへの命令を決定する意思決定機関である。戦局全体を把握するために、ストラテジーAIは、ゲーム中ではスカッドAIと個々のAIからリアルタイムに局所的な情報を吸い上げる。そして、事前にマップを、一定の大きさを単位としてネットワーク化した戦略グラフの上に情報を更新して行く。

戦略グラフは、各マップに対して以下のような手順で自動生成する[10, 14](この生成は、ゲーム内でなく

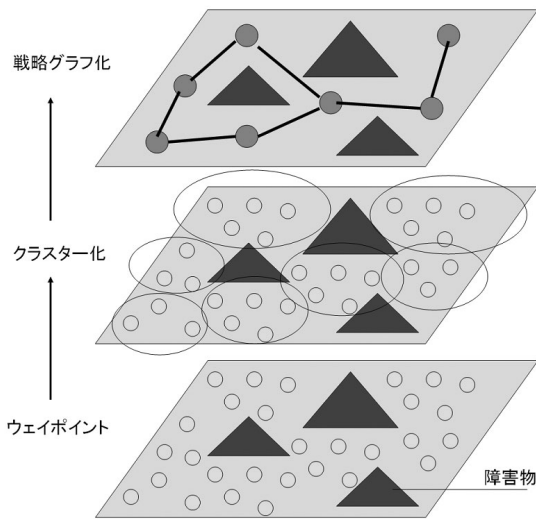


図9 ウェイポイントから戦略グラフを生成する[10, 14]

ゲーム開発時にあらかじめ構築される)(図9)。

- i) 各マップにウェイポイントを均等に分布する。
- ii) ウェイポイント群を、なるべく正方形に、かつ規定のウェイポイント数になるようにクラスター化して行く。
- iii) クラスター同士を接続し、グラフ構造にする。

構築した戦略グラフの上に、各ノードにおける戦況をアップデートして行くことで、戦局全体を逐時的に追うことが可能になる。

戦局の計算には影響マップ(Influence map)の手法[15]を用いて行う。影響マップは、マップ上の各点における種々の要素の影響度を数値化して、マップ全体の影響度の強さを認識する手法である(図14)。

Killzone 2においては、各クラスター内における、敵、味方、自動砲台の情報、敵味方が殺傷された情報などを元に、それらを数値化して、戦略グラフの各ノードがどちらの陣営に優位かを計算する。この情報を元に、ストラテジーAIはスカッドAIに命令を下したり、スカッドAIのために安全な経路や、或いは逆に、敵と遭遇しやすい経路を指示することが可能となる。それらは、全体のチームとして知的に整合性にとれた行動を可能にするのである[10, 14]。

4. Left 4 Dead におけるメタ AI

4.1 メタ AI とは？

Left 4 Dead (Valve Software, 2008年) は4人のプレイヤーが一チームになってステージをクリアするオンライン・アクションゲームである。通常、アクションゲームは敵の出現ポイントやタイミングが決められ

ているため、何度かプレイすることで、それらを記憶した上で予測プレイをすることでクリアすることが出来るが、同時に何度も同じゲーム内容を行うことで飽きが来ってしまうという問題がある。Left 4 Deadでは、この問題に対し、メタ AI と呼ばれる技術によってプレイする度に新しいゲーム内容に更新する手法を開発した。

メタ AI とは、ゲーム全体を動的に制御する AI である。例えば、プレイヤーのスキル、状態を認識・解析し、それに応じてゲーム内容を変化させる。最も典型的な例は、日本の80年代のコンシューマーゲームにおける「セルフ・ゲーム・コントロール・システム」である[16]。80年代のコンシューマーゲームにおいては、初めてデジタルゲームに触れるユーザー層と、アーケードで熟練したゲーマーの両者のスキルレベルにゲームを合わせるために、幾つかのゲームでは、ユーザーのスキルに応じてゲームの難易度を変化させる自動機能が実装されていた[4, 17]。

4.2 Left 4 Dead におけるメタ AI

Left 4 Dead においては、メタ AI を「セルフ・ゲーム・コントロール・システム」より積極的に使用する。Left 4 Dead では、ユーザーの緊張度がまず、ユーザーのプレイ履歴などから計算される[18, 19](その計算式は公開されていない)。ユーザーの緊張度は継続的にモニターされ、緊張度が緩んだ瞬間に敵を出現させるなどの仕掛けに用いることで、ユーザーの心理に合わせて、動的にゲーム内容を変化させる(Adaptive Dramatic pacing と呼ばれる)(図10)。この変化のさせ方は、ユーザーやチームの特性で毎回変わるので、プレイする度に変化し、新しいコンテンツが提供されるのである。

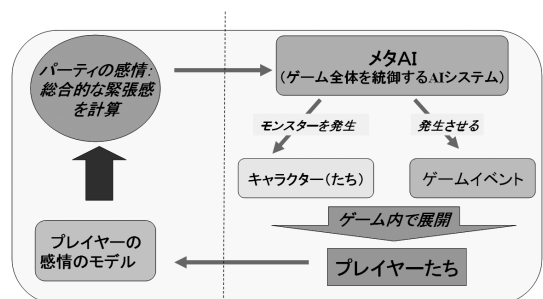


図10 メタ AI の導入スキーム [17]

5. Microsoft games におけるレーティングシステム

一般に、ある種のゲームでは、ゲームそのものではなく、ゲームが始まる前の段階で、ゲームのために準備する段階の試行錯誤の領域、メタゲームの領域が存在する。例えば、トレーディングカードゲームでデッキを組む段階、オンラインゲームでは対戦相手を決めるプレイヤー・マッチングの段階においてである。

オンラインゲームでは、プレイヤーやチームのランキングを決定する為に、また、膨大なログインユーザーの中からスキルに合った対戦相手を自動的に見出すために、ユーザーのスキルのランキングを戦歴に応じて適切に評価するシステムが要求される。特に、全世界で数百万本を売り上げる Halo 3 (Bungie, 2007) などの人気タイトルでは、膨大なユーザーに対するランキング・システムとマッチング機能は、オンラインモードをゲームとして成立させるために必須な基本システムである。

Xbox LIVE (Microsoft) のタイトルでは、True Skill (Microsoft) と呼ばれる統一したレーティングシステムが導入されている [20]。このシステムは、国際的なチェスのスキルランキングで利用されて来た二人対戦に特化した Elo レーティングシステムをマルチプレイヤーゲーム用に発展させたものである [21]。

True Skill では、ユーザーのスキルと実際に試合で発揮されるパフォーマンスの二つの値を区別し、パフォーマンスの分布はスキルの値を中心値として正規分布になると仮定する。そして、各試合の結果に応じて、スキルと標準偏差を式 (1, 2) に基づき変化させる (図 11)。

スキルはスキル値と標準偏差からなり、試合を重ねれば重ねるほど、対戦結果に応じてスキル値が変化すると同時に標準偏差が小さくなり、スキル値が一つの値に収束して行く (図 12)。

$$\mu_{win} \leftarrow \mu_{win} + \frac{\sigma_{win}^2}{c} \cdot \nu \left(\frac{(\mu_{win} - \mu_{lose})}{c}, \frac{\varepsilon}{c} \right) \quad \text{式 (1)}$$

$$\sigma_{win}^2 \leftarrow \sigma_{win}^2 \cdot \left[1 - \frac{\sigma_{win}^2}{c^2} \cdot w \left(\frac{(\mu_{win} - \mu_{lose})}{c}, \frac{\varepsilon}{c} \right) \right] \quad \text{式 (2)}$$

図 11 スキル (μ) とその標準偏差の勝者の変化式
 μ … スキルの値, σ … 標準偏差, ε , c … 定数, ν , w は減少関数で、この関数の形で勝敗、引き分けの変化の影響の強さが決まる。 ε 値によって関数の形状を決定する (ゲームによって決定する)。敗者の変化式も、よく似た形で符号を反転させた形になる [20, 21]

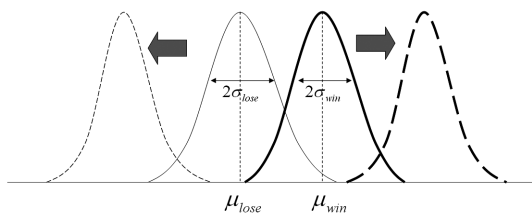


図 12 True Skill におけるスキル値と標準偏差の変化の一例 [20, 21]

6. Empire Earth におけるマップ自動生成技術

Empire Earth (Stainless Steel Studios, 2001) は対戦型オンライン・リアルタイムゲームである。リアルタイムストラテジーでは、地形に基づいたプレイヤーの判断がゲームを大きく支配するため、地形がずっと固定されたままであると、経験者が有利になったり、プレイに飽きが生じやすくなる。そこで、リアルタイムストラテジーゲームでは、ゲームの度に地形を自動生成する機能が付属されている場合が多い。

Empire Earth は、ユーザーがそれぞれの土地で資源を利用して文明を育みながら他国を征服するゲームであり、毎回、マップが生成されることで、新しい戦略を産み出しながらプレイすることが必要となる。地形自動生成は新しいコンテンツを常に生成することで、コンテンツの寿命を延ばす役割を持っているのである。

Empire Earth では、「プレイヤー人数」「チーム数」「マップサイズ」「天候」「マップタイプ」「乱数シード」の入力に応じてマップがプロシージャルに自動生成される。マス目で仕切られたマップにおいて出発タイルから始めて、自身に接するタイルの中からランダムにタイルを選んで成長させて行く。最終的に、指定された

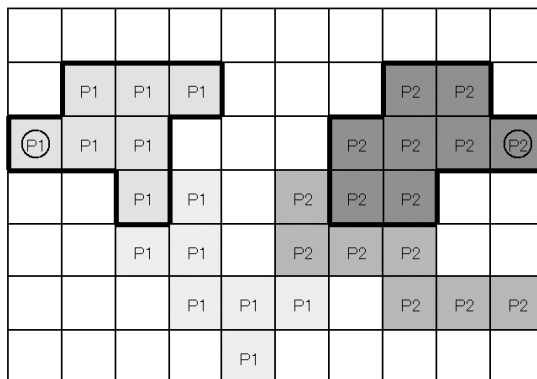


図 13 Empire Earth における地形生成 [22]

タイル数に到達した時点で、それに接するタイルを始点として次の領域の生成が始まる。こうして、作られた連続タイルは陸地として、それ以外は海として利用される。これらの生成は、プレイヤーそれぞれの始点から始めて生成して行く(図13)。

最終的には、生成した地形を解析し、配置物が自動配置され、地形タイルの上に、さらに精緻な地形モデルデータを被せることで、見掛け上も美しい完成されたマップとなる[22]。

7. Age of Empire における影響マップによる地形解析と自動配置

Age of Empire (Ensemble Studios, 1997年) は対戦型オンライン・リアルタイムストラテジーゲームで Empire Earth と同様、地形を自動生成し、その生成した地形を自動解析して適切な場所に建築物や AI を配置する。

まず、生成した地形に対して、エリアがきちんと連結されているかをチェックし、次に、自動的に建築物を配置する。この時、影響マップ[15]の方法で適切な配置場所を計算によって求める[23]。

影響マップは、その位置における、種々の要素の影響力を計算する手法である[15, 17]。例えば、街の守りを行う兵士を配置するポイントは、街から離れていて、かつ高台であることが条件である。そこで、街から離れるごとにマイナスのポイントを低くし(デトラ

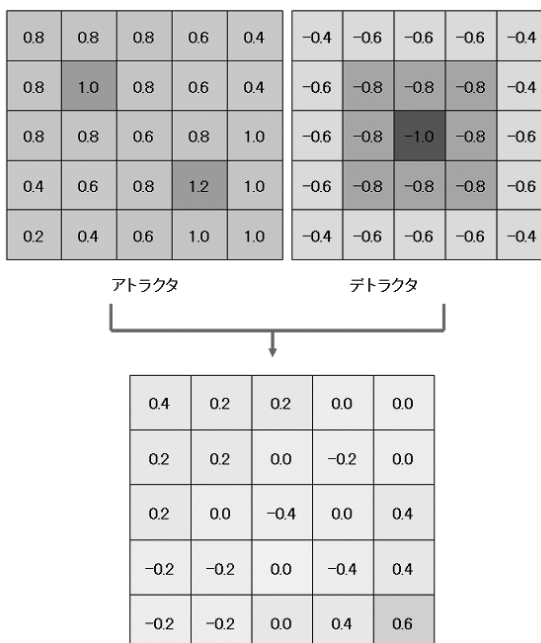


図14 影響マップのアトラクタ、デトラクタ

クタ)、地形が高い場所には高いポイントを与え(アトラクタ)、双方の値を参照して計算することで、最適なポイントを見出すことが出来る(図14)。Age of Empireでは、さまざまなオブジェクトがこのような手法で自動配置される。

8. Eve Online における星系ルート生成

Eve Online (CCP Games, 2003) は、いくつかの星系が経路で連結された宇宙全体を舞台として、資源・商業・政治などを巡って戦うゲームである。その星系

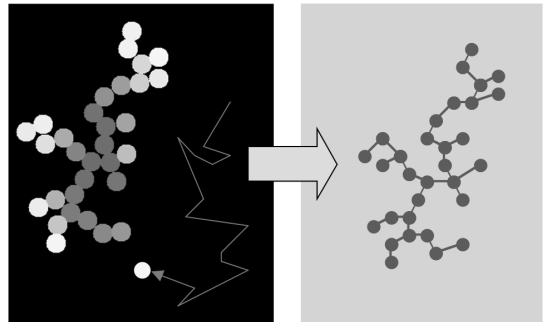


図15 拡散律速凝集シミュレーション [24]

全体の生成は、DLA (Diffusion Limited Aggression, 拡散律速凝集シミュレーション)を用いて生成されている[24]。これは、ランダムウォークする粒子が積み重なる現象をシミュレーションした技術で、大規模で複雑なグラフを生成することが出来る。

9. オンラインRPG における評判伝播モデル

オンラインゲームにおける特徴の一つは、複数のユーザーが作る社会性にある。特に多数のユーザーが同時のログインするオンラインRPGでは、その度合いが強く、例えば、最も初期のオンラインRPG、Ultima Online (Origin Systems, 1997)では、善行を表す「カルマ」と有名度を表す「フェーム」の二つのパラメーターが設定されている。前者は、他者に施しをしたり、悪いモンスターを倒すと上昇し、後者は、単に自分より「フェーム」の高い敵を倒して行くことで上昇する。カルマはいわば倫理パラメーターであり、これによってNPCたちのプレイヤーに対する対応が変わる。一方、フェームは純然たる有名度であり、これによってゲーム内で行使できる特権が変化する。

Ultima Online にヒントを得て、それ以降のオンラインRPGでは、評判システムやキャラクターのある種の種族やギルド内のポイントといった社会的パラメーターによって、参加できるクエストや許容される行動

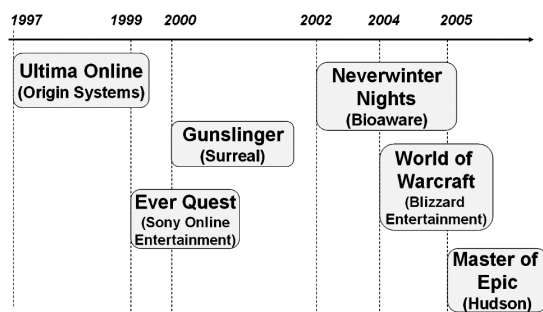


図 16 オンラインゲームにおける社会的パラメーターを持つゲームの系譜 (一部)

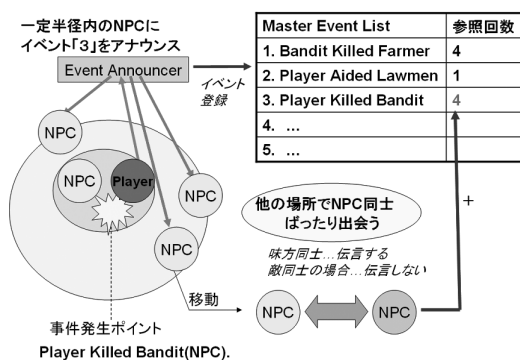


図 17 Gunslinger における評判システム [25]

が広がって行くといったシステムが実装されることが非常に多く、また、そのバリエーションも様々な派性した。

最も精密な評判システムを組み立てたのは、Gunslinger (Surreal Software, 2000) である。これはオフラインゲームであるが、後にオンラインゲーム、Neverwinter Nights (Bioaware, 2002) に、より簡素な形で実装された。ここでは、Gunslinger の評判システムを解説する。

このシステムでは、まず、プレイヤーやNPCに起こしたイベントが、「誰が」「誰と」「いつ、どこで、どのようなインタラクションをしたか」…という知識ベースの情報(図18)として、マスターイベントリストに登録され、イベントを目撃したNPCの記憶に保存される。各NPCは、イベント記憶の内容によって、他の種族やプレイヤーに対して、自分がどのような好感度を持つかが計算される。直接事件を目撃しなかったNPCも、仲間のNPCと合うと、イベント記憶を相互に交換して更新し、その記憶に対して新しく他の種

Subject Group	Player
Verb	DidViolenceTo
Object Group	Bandit
Object Individual	Joe
Magnitude	75(Killed)
Where	50,20,128(In front of saloon)
When	High noon
Template	KilledBanditTemplate
ReferenceCount	Known by 11 NPCs
Reputation Effects	Bandits hate player more Lawmen like player more Farmers like player more

図 18 Gunslinger における登録されたイベントの知識表現の詳細 [25]

各NPCの種族間友好度 初期値 (主体が(対象)をどれぐらいよく思っているか)

主体 \ 対象	モンスター	山賊	ガード	一般人
モンスター	100	0	0	0
山賊	50	50	0	0
ガード	0	0	100	100
一般人	0	0	100	80

敵対行動に対する友好度変化

目撃者	誰もいない	友好種族を攻撃	敵友好種族から目撃	中立種族を攻撃	敵中立種族からの目撃	対敵種族	敵族から目撃
攻撃	-2	-12	-6	-4	-2	-2	0
殺人	-5	-45	-25	-15	-5	-5	0
盗む	-1	-5	-3	-2	0	-1	0

図 19 Neverwinter Nights における評判のパラメーター変化表 [26]

族に対する評価を変化させることで、NPCの社会の中でプレイヤーに対する評判が伝播して行く[25](図17)。

また、あるNPCが同じ対象に対する新しい別のイベント記憶を所持した場合、イベントの種別によって一方が消去され、新しい記憶に上書きされることもある。このように知識ベースによる記憶は、記憶同士のインタラクションを定義することで、様々な伝播と記憶の蓄積のあり方を定義することが出来る。

Neverwinter Nightsでは、より簡潔に、パラメーターベースで評判が変化するシステムとなっている(図19)[26]。Neverwinter Nights では、

- ① あるキャラクターが倒した種族が、そのキャラクターの友好種族であったか、中立であったか、敵対種族であったか
- ② その事件を目撃した種族が、倒された種族の、友

好種族であったか、中立であったか、敵対種族であったか

によって評判の変化の仕方がゲーム内の社会でグローバルに変化して行く。

10. ゲーム検証のためのヒートマップとデータマイニング

オンラインゲームではリリースに先立ち、限定したユーザーに対して製作中のゲームをプレイして、テストするβテストと呼ばれる期間が存在する。主たる目的は、デバッグであるが、この間のユーザーのプレイデータをオンラインを通じて収集することで、ゲームデザイン、レベルデザインの検証に役立てることが出来る。

特に、ゲームマップ上のどのポイントにおいて、ユーザーがどのようなやり方をしたか、をマップ上に統計情報として集積したマップを「ヒートマップ」(Heatmap)と呼び、レベルデザインの検証に用いられる。Team Fortress 2 (Valve Software, 2007)、Halo 3などで利用されている[27]。また、オンラインゲームではないが、Assassin's Creed 2 (Ubisoft, 2009)では、開発中のQA(Quality Assurance)の過程で利用されている[28]。このような統計情報はゲームリリースした後も集積される場合もあり、Halo 3では、Web上で詳細が公開され続けている[29]。

11. ユーザー作成コンテンツのプロシージャル技術によるオンラインを通じたデータ交換モデル

Spore(EA, Maxis, 2008)はキャラクター・エディター、レベルデザイン・エディターによって自分自身のキャラクターやステージを、プロシージャル技術の力を借りながら作成し、シミュレーションをくり返すゲームである[30, 31]。このようにユーザーがゲーム内で自ら作り出したコンテンツをユーザー作成コンテンツ(UGC, User Generated Contents)という。UGC自身の歴史は古いが、現代のデジタルゲームにおけるUGCの重要なポイントは、UGCをオンラインを通じて他のユーザーに「見せびらかすことができる」「配布することができる」という点である[32]。

Sporeには、自分の作成したコンテンツがアニメーションする様子をワンボタンでYouTubeにアップロードできる機能が付いている。また、自分が作成したコンテンツをサーバーにアップ出来ると同時に、他のユーザーのデータをダウンロード出来るようになっている[33]。ここで重要なのは、キャラクターのモデルやアニメーションデータは、Sporeエディター上でプ

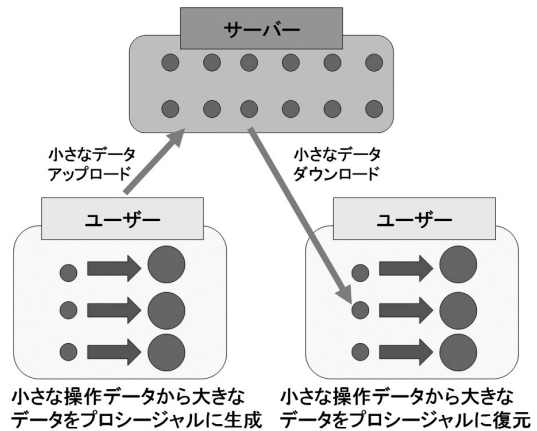


図20 ユーザーがプロシージャルに作成したコンテンツをサーバーを介して交換する [33]

ロシージャルに展開できるため[30, 31]、転送するデータ自身は、生成に最低限必要な比較的軽いデータのみで済むという点である。

「UGC」「プロシージャル」「オンラインを通じたデータ交換」という3種類の技術の組み合わせは、Sporeが開拓した仕組みであり、他のゲーム、例えば、レベルデザインをプロシージャルなツールを用いて生成し交換できる「Far Cry 2」(Ubisoft, 2008)にも応用されている[34]。

12. これからの展望

12.1 概要

これまで解説して来たように、オンラインゲームにおける本質的なゲームデザインの探求が、新しいAI・プロシージャル技術を要求し、牽引して来た。そのため、オンラインゲームでは、技術とゲームデザインが融合した形で発展して来た事例を多く見ることができる。この比較的新しい分野においては、ゲームデザインと技術の結びつきは、オフラインゲームよりも一層密接であり、その技術的成果は、巡ってオフラインゲームに対しても還元されつつあり、オンラインゲームの可能性の懐の深さを窺わせるものである。

メタバースのようなユーザーが成立させて行く仮想空間と異なり、オンラインゲームは大小、様々なゲーム体験の輪を組み合わせ、一つの大きなゲーム体験を成立させて行く。AI・プロシージャル技術においては、これまでゲームデザインの要求に応じて、マルチエージェント、メタAI、地形解析-地形生成技術、プレイヤー・マッチング技術などが開拓されて精錬されて来たが、これはほんの端緒に過ぎない。オンラインゲームの深みと広がりを持つゲーム空間の上に、AI・プロシージャル技術はより大きく発展するチャンスを

持っている。これから、その可能性を一つ一つ形しながら探求して行く為の多くの仕事、実際のタイトル開発においても、技術開発・研究においても残されている。

12.2 各技術のこれからの研究課題

ここでは、本論文で紹介して来た各技術のこれからの研究課題を各々解説して行く。

デジタルゲームにおけるマルチエージェント技術は、経済や社会現象の研究で時々用いられる、複数のエージェントを箱庭の中でシミュレーションして俯瞰して観測する視点とはやや異なる。デジタルゲームにおけるマルチエージェントは、複数のプレイヤー＝人間が、複数のエージェントの中に入って協調或いは敵対する行動の中で動作することを想定しなければならない。そこで目的となるのは、シミュレーションの結果よりも、ユーザーが主観的に体験し感じる集団の行動である。ユーザーはそこで、現実における集団に対する感覚や社会感覚を再現させ、エージェントにほぼ人間＝ユーザーと同等の役割を要求する。エージェントに対するユーザーの感覚は非常に鋭敏であり（敵としてのエージェントより味方としてのエージェントにより鋭敏になる傾向がある）、体験時間が長期になるほど微かな非人間的な行為にも違和感を抱き始める。そのような感覚を抑え人間的なAIとして感じさせるためには、どのような技術的解決や、心理的解決との組み合わせが必要であるかを探求して行くことが、デジタルゲームにおけるマルチエージェント技術の今後の課題である。

メタAIは、Left 4 Dead において一躍、大きな注目を集め、開発者に再認識された技術である。メタAIは、積極的、かつ、リアルタイムにゲーム世界を変化させ、コンテンツを多重化して行く技術である。現在は、Left 4 Dead の事例以外に、どのような活用方法があるのか、開発者による試行錯誤が為されている時期である。

地形生成－地形解析技術は、オンラインゲームでは、10年余りに渡る長い歴史を持つ技術であるが、現在のところ、特定のレベルデザインに特化したニッチな手法が多い。ゲーム毎に生成の手法もまちまちである。シミュレーションゲーム、ダンジョンゲームに応用される事例が多く、また、対戦や限定されたクエストの中に独立した形で使用される場合が多い。今後、地形生成技術は、技術的には体系化され、より高度な生成アルゴリズムの研究を推進して行き、汎用的な応用のレベルまで引き上げられることが必要である。その上で、大型ゲームに包括的に応用して行く基礎を築

くことが出来れば、一つのゲームデザインの突破口になると予想できる。

12.3 大学・研究機関におけるゲーム技術研究の重要性

オンラインゲームに限らず、現代の大型ゲーム開発は2～5年の開発期間を要するため、多方面に渡る技術研究の事業は、ゲーム産業全体の取り組みであり、海外ではGDC (Game Developers Conference)、国内ではCEDEC、或いは論文や書籍を通じて、知識共有・交換が盛んになりつつある。

本論文では、そのような場を通して、これまで公開されて来た情報を解説した。これらの技術の包括的な解説によって、大学・研究機関の研究者に、産業におけるオンラインゲームにおける技術的な研究課題を示すことが本論文の目的である。

デジタルゲームは、80年代はプログラミング作品として、90年代は工業製品として、00年代は、商品であると同時に研究成果としての側面を持つように変化して来た[35]。現在、大型ゲームの開発には、必ず、新規技術の研究を伴うことが世界的に標準となっている。日本はこの流れにやや遅れている。ゲーム開発に、研究のベクトルを大きく導入することが、現在、ゲーム産業にとって急務となっている。

そのためには、研究するに値する難易度の高い問題、かつ、それを解くことによってデジタルゲームの進化を促すような問題を見出し、解決して行く環境を構築して行くことが必要である。同時に、より問題を一般化し公知することで、産業と大学・研究機関が、隔てなく、この問題に挑戦し、成果を発表し合える場を作って行くことで、デジタルゲーム技術研究の流れを強く推進して行く必要がある。それは大学・研究機関に対して産業から工学的問題を提供すると同時に、大学・研究機関から産業へ向けて優れた研究成果や高度な知識を伝播する場ともなるはずである。

欧米では既に、実際のタイトル内の技術開発を、産学で共同開発する例が増えつつあり[36]、また、デジタルゲームのAIに特化した学会や国際会議も増えつつある[37][38][39]。そこでは、開発者・研究者が共に参加し意見や成果を交換する。

本論文は、まず、オンラインデジタルゲームにおける主要な技術的領野を広く解説することで、多くの研究者に、この分野の概観と研究課題を提示するものである。

参 考 文 献

- [1] 三宅陽一郎:“プロシージャル技術”, デジタルゲームの教科書, 第22章, ソフトバンク・クリエイティブ, 2010
- [2] フロム・ソフトウェア:“Chromehounds”, 2006
<http://jp.chromehounds.com/jp/>
- [3] 三宅陽一郎:“ディジタルゲームにおける人工知能技術の応用”, 人工知能学会誌, vol.23, pp.44-51, 2008
- [4] 三宅陽一郎:“ディジタルゲーム AI”, デジタルゲームの教科書, 第23章, ソフトバンク・クリエイティブ, 2010
- [5] 三宅陽一郎:“エージェント・アーキテクチャから作るキャラクター AI”, CEDEC 2007 講演資料, 2007
<http://blogai.igda.jp/article/33936286.html>
- [6] 三宅陽一郎:“クロムハウズにおける人工知能開発から見るゲーム AI の展望”, CEDEC2006, 2006
<http://blogai.igda.jp/article/33936286.html>
- [7] 三宅陽一郎:“人工知能が拓くオンラインゲームの可能性”, AOGC2007, 2007
<http://www.bba.or.jp/AOGC2007/2007/03/download.html>
- [8] 三宅陽一郎:“エージェント・アーキテクチャに基づくキャラクター AI の実装”, 第4回デジタルコンテンツシンポジウム プロシーディングス 2.2, 2008
- [9] Kutluhan Erol. James Hendler. Dana S. Nau:“HTN Planning: Complexity and Expressivity”, In Proceedings of AAA-I 94, 1994
- [10] Champandard, A., Verweij, T. and Straatman, R.:“The AI for Killzone 2’s multiplayer bots”, Proceedings of Game Developers Conference, Paris, 2009
http://files.aigamedev.com/coverage/GAIC09_Killzone2Bots_StraatmanChampandard.pdf
- [11] Jeff Orkin:“Three States and a Plan: The A.I. Of F.E.A.R.”, Game Developers Conference 2006, 2006
http://www.jorkin.com/gdc2006_orkin_jeff_fear.zip
- [12] Jeff Orkin:“Applying Goal-Oriented Action Planning to Games”, AI Game Programming Wisdom, vol.2, pp.217-228, 2003
- [13] Jeff Orkin:“Agent Architecture Considerations for Real-Time Planning in Games”, Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference 2005 Proceedings., 2005
<http://web.media.mit.edu/~jorkin/aiide05OrkinJ.pdf>
- [14] Alex J. Champandard, Remco Straatman, Tim Verweij:“On the AI Strategy for KILLZONE 2’s Multiplayer Bots”, Game Developers Conference 2010, 2010
http://files.aigamedev.com/coverage/GDC10_Killzone2.pptx
- [15] Paul Tozour:“Influence Mapping”, Game Programming Gems, vol.2, 3.6, pp.287-297, 2001
- [16] “岩谷徹氏がゲームクリエイターの資質を問う”, IT Media, 2007
<http://gamez.itmedia.co.jp/games/articles/0710/05/news011.html>
- [17] 三宅陽一郎:“プログラミング AI”, デジタルコンテンツ制作の先端技術応用に関する調査研究報告書 (2008年度), pp.73-137, 2009
http://www.dcaj.org/report/2008/data/dc_08_03.pdf
- [18] Michael Booth:“The AI Systems of Left 4 Dead”, Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference at Stanford, 2009
<http://www.valvesoftware.com/publications.html>
- [19] Michael Booth:“Replayable Cooperative Game Design: Left 4 Dead”, Game Developers Conference 2009, 2009
<http://www.valvesoftware.com/publications.html>
- [20] Microsoft Research:“TrueSkill Ranking System: Details”,
<http://research.microsoft.com/en-us/projects/trueskill/details.aspx>
- [21] Ralf Herbrich:“Forza, Halo, Xbox Live: The Magic of Research in Microsoft Products”, Microsoft, The Student Technology Day, 2008
<http://www.microsoft.com/uk/academia/student-technologyday/default.mspx>
- [22] Shawn Shoemaker:“Random Map Generation for Strategy Games”, AI Game Programming Wisdom, vol.2, 7.4, pp.405-412, 2004
- [23] Dave C. Pottinger:“Terrain Analysis in Realtime Strategy Games”, Game Developers Conference 2000, 2000
<http://www.gamasutra.com/gdcarchive/2000/pottinger.doc>
- [24] Halldor Fannar:“The Server Technology of EVE Online: How to Cope With 300,000 Players on One Server”, Game Developers Conference Austin 2008, 2008
<http://cmpmedia.vo.llnwd.net/o1/gdcradio-net/2008/agdc/slides/S7922i1.ppt>
- [25] Greg It, Kristin King:“A Dynamic Reputation System Based on Event Knowledge”, AI Game Programming Wisdom, vol.1, 8.6., pp.426-435, 2002
- [26] Mark Brokington:“Building a reputation system: Hatred, Forgiveness, and Surrender in Neverwinter Nights”, Massive Multiplayer Game Development, vol.1, 6.5, pp.454-463, 2003
- [27] Mike Ambinder:“Valve’s Approach to Playtesting: The Application of Empiricism”, Game Developers Conference 2009, 2009
- [28] Patrick Plourde:“Designing Assassin’s Creed 2”, Game Developers Conference 2010, 2010
<http://www.gdcvault.com>
- [29] Bungie:“Global Halo 3 Heatmaps”, Bungie.net,
<http://www.bungie.net/online/heatmaps.aspx>
- [30] Chris Hecker:“Real-time Motion Retargeting to Highly Varied User-Created Morphologies”, SIGGRAPH 2008, 2008
http://chrishecker.com/Real-time_Motion_Retargeting_to_Highly_Varied_User-Created_Morphologies
- [31] 倉地紀子:“Spore のモーションリターゲット・バイブライン”, CGWORLD 2009年1月号, vol.125, pp.80-85, 2009
- [32] Chris Hecker:“Meaning, Aesthetics, User Generated Content”, GDC China 2009, 2009
<http://www.gdcvault.com>
- [33] Will Wright:“AI: A Design Perspective”, Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference 2005, 2005
- [34] “自作マップで本当にみんなで遊べるの? 『FAR CRY 2』

- プロデューサーに聞いてきた”, ファミ通オンライン, 2008
http://www.famitsu.com/event/tgs/2008/1219017_1829.html
- [35] 三宅陽一郎: “日本のゲーム開発技術の全体像とこれからの課題”, デジタルコンテンツ制作の先端技術応用に関する調査研究報告書 (2009年度), pp.146-179, 2010
http://www.dcaj.org/report/2009/data/dc_09_03.pdf
- [36] Nathan Sturtevant: “Memory-Efficient Abstractions for Pathfinding”, Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference 2007, 2007
<http://webdocs.cs.ualberta.ca/~nathanst/papers/mmabstraction.pdf>
- [37] IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, <http://www.ieee-cig.org/>
- [38] The Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference (AIIDE), <http://www.aaai.org/Conferences/AIIDE/aiide.php>
- [39] Paris Game AI Conference, <http://gameaiconf.com/>
 (2010年10月10日 受付)
- [問い合わせ先]
 〒151-0073 東京都渋谷区笹塚2-26-2
 株式会社フロム・ソフトウェア
 三宅 陽一郎
 TEL: 03-3320-6071
 FAX: 03-3320-5632
 E-mail: y_miyake@fromsoftware.co.jp,
<http://fromsoftware.co.jp>

 著 者 紹 介



み やけ よういちろう
 三宅 陽一郎 [会員]

1999年京都大学総合人間学部基礎科学科卒業。2001年大阪大学理学研究科修士課程物理学専攻修了。2004年東京大学工学系研究科博士課程(単位取得満期退学)。同年、株式会社フロム・ソフトウェア入社。人工知能学会会員、日本デジタルゲーム学会研究委員、会員。デジタルコンテンツ協会「デジタルコンテンツ制作の先端技術応用に関する調査研究委員会」委員(2007~2009年度)。IGDA日本(国際ゲーム開発者協会日本)ゲームAI専門部会、チェアマン。共著「デジタルゲームの教科書」(ソフトバンク・クリエイティブ, 2010年)。