

# 双方向通信型 3D ワールドシミュレータ

## 3D-NWS Project

和田健之介<sup>1)</sup>      和田佳子<sup>1)</sup>      中口孝雄<sup>1)</sup>      星和明<sup>1)</sup>      金子勇<sup>2)</sup>  
Kennosuke WADA, Yoshiko WADA, Takao NAKAGUCHI, Kazuaki HOSHI, Isamu KANEKO

石井卓良<sup>3)</sup>      黒田大介<sup>4)</sup>      西尾泰和<sup>5)</sup>  
Takayoshi ISHII, Daisuke KURODA, Hirokazu NISHIO

- 1) 有限会社 アントラッド  
〒630-8101 奈良県奈良市青山4丁目4番地123  
TEL&FAX: 0742-20-5539 E-mail: [kwada@m3.kcn.ne.jp](mailto:kwada@m3.kcn.ne.jp)
- 2) 東京大学大学院 情報理工学系研究科 数理情報学専攻
- 3) デジタル・ファッション株式会社
- 4) 株式会社 機械学習研究所
- 5) 京都大学 工学部 情報学科

**ABSTRACT.** In our last two Exploratory Software Projects (ESP), we developed a 3D-Network World Simulator (**3D-NWS**) for network communications, with which users play the primary role in creating the world. It incorporates a great many advanced technologies, including super fast physical simulation, an animation engine applying high-order connection of quaternion, a high quality real-time rendering engine, a script engine allowing the user to easily build an AI engine, and a load balancing mechanism enabling control of the load of each object.

### 1. 3D-NWS プロジェクトの目的

**3D-NWS** (3D-Network World Simulator) プロジェクトの究極の目標は、ネットワーク上でスーパーリアルな3D環境を活用したコミュニケーション空間を提供し、それを誰もが簡単かつ自然な感覚で参加できるようなシステムを開発することです。

このシステムの最大の特徴は、ユーザーの操作するアバターと、知能エンジンを搭載したキャラクターが、3D仮想世界という土俵上で、全く対等な存在になることです。つまり、最近の知能研究の中心となっている、ロボットを主体とした研究とも異なり、ワールドの中には、人工キャラクター以外にも、ネットワーク上の多くのユーザーが操るアバターが3Dワールドの中で動き回っているため、人工キャラクターには、ユーザーの行動や評価基準を吸収することが可能となっています。

従来型の記号を中心とした人工知能の研究では、記号のセマンティクスが持つフレーム問題等の大きな壁がありましたが、私達のシステムでは、キャラクター自身が3D環境および他のキャラクター達から受け取る膨大な情報が、キャラクターの内部状態と密接に絡むことにより、状況意味論的な情報構造が自然とキャラクター内部に発生します。このような常に変動する膨大な環境情報を、人工キャラクターがリアルタイムで認識できるようにするために、アクティブ・センサーや、認知モデルを実装

し、さらに、3Dワールドには超高速の物理シミュレーション・エンジンが導入されています。

現時点、いや近い将来においてすら、人工キャラクターに、感性などが深く関わる複雑な認知機構を実装することは、極めて難しい問題ですが、ネットワーク上の生身のユーザー達が評価した基準をもとにして、素情報のさまざまな組み合わせや、改良を試みることにより、人工キャラクターがオリジナルの情報を生成することが可能となります。所謂、『組み合わせの妙』を心得たキャラクターが、市場価値の高い情報を生成することができるような仕組みを構築できれば、このユーザーと人工キャラクターが渾然一体となった世界では、既にユーザーが操っているのか、知能エンジンが制御しているのかは、もはや区別することすら意味を失い、知能エンジンは3Dワールドに新たな価値を持った情報を提供するためのシステムとして機能することができます。私達は、このように限られた世界ではあっても、ユーザーと人工キャラクターが対等な立場でインタラクションが可能なシステムの実現を夢見ながら、そのようなシステムの構築に必要となる、さまざまな要素技術を開発していきたいと思っています。

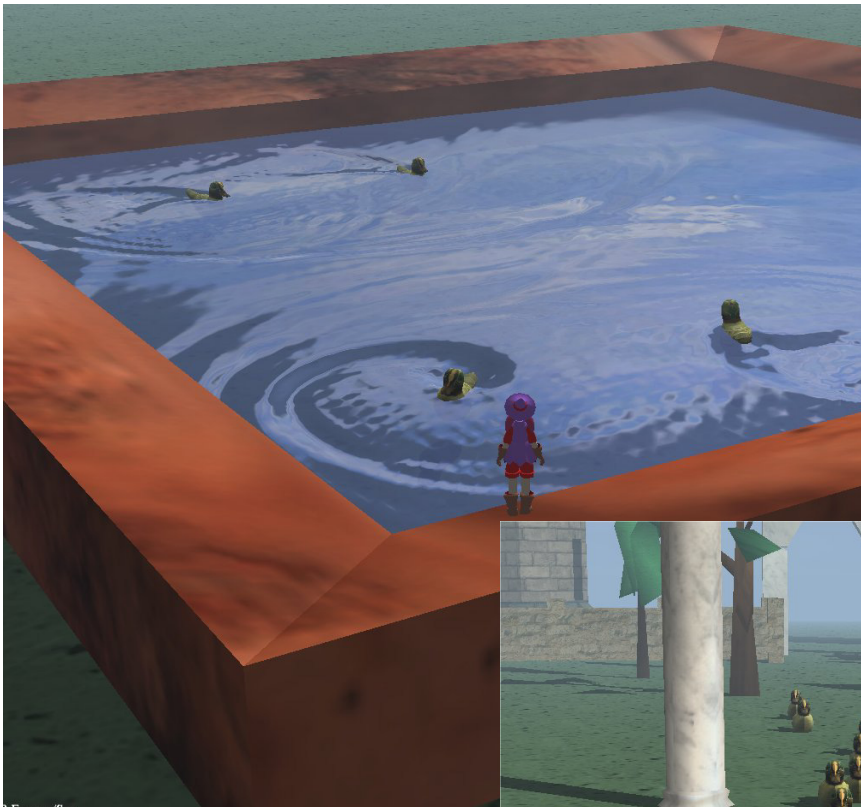
以下の頁で、コンテンツを中心にして、現在の各要素技術を解説いたします。

## 2. 要素技術解説

### ① 鴨のプール

従来はこのような水面上にできる波面はテクスチャの変更でごまかす場合が多かったのですが、ここでは、粒子一つ一つをバネで結んだ格子振動子で構成しています。垂直方向にもバネとダッシュポットがついていて、自然に波が減衰します。

鴨はスクリプトで動作を記述して、ごく自然な感じで泳ぐようにプログラムしてあります。鴨とプール、鴨と鴨、キャラクターと鴨、さらに鴨と波、キャラクターと波、プールと波、これら全てに物理演算が働いていて、スクリプトで鴨が制御されています。さらに、波表面は環境マッピングされているので、空の太陽が反射している様子が表現されています。鴨が引き起こす、回転した波や、キャラクターが移動することで生じる三角波にご注目下さい。キャラクターが二人いることでもわかりますが、このワールドもネット上で動いています。



### ② 猫と鴨

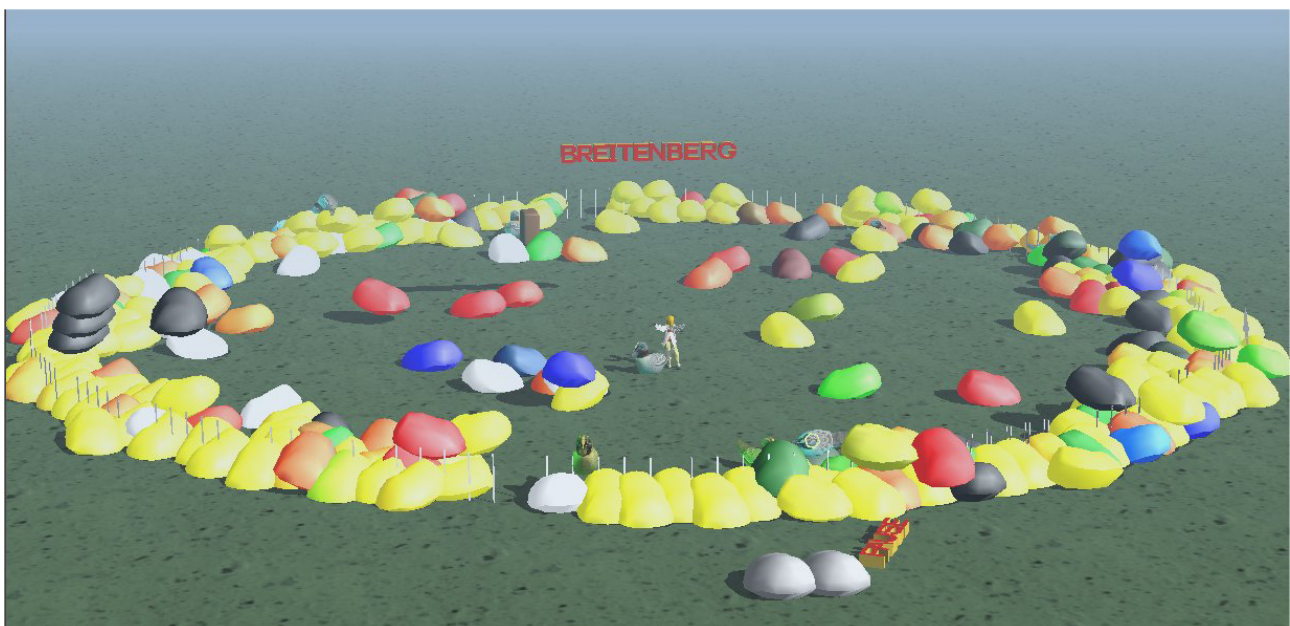
鴨の動きをできるだけ自然な動きにするために、スクリプトに工夫が凝らしてあります。鴨どうしは鴨の行列を作りやすくしてあって、かつ猫にとっても興味を持つような性格になっています。ところが、ひどく臆病なので、仲間の鴨が捕まえられると、びっくりして一斉に後ずさりして、捕まえられた仲間の鴨に注目します。行ってみたいけど怖い、といった表情が極めてシンプルなスクリプトによって表現されています。

これだけの鴨の動作が全てエンドユーザ側で作成したスクリプトによって制御されていて、全く 3D-NWS システム本体には変更を加えていない点にご注目下さい。

### ③ 鴨の進化ワールド

このワールドも **3D-NWS** システムには一切変更がなく、全てスクリプトのみの記述によって作成されています。赤い四角でできた牙を持った箱が肉食獣です。より長生きした鴨をめがけて捕食を繰り返します。あまり食べられない期間が長くなると、だんだんくすんだ茶色に変色していきます。鴨には、従来のA Iや人工生命では考えられないくらい本格的な機構が内在されています。視覚センサー、聴覚センサーはもちろんのこと、空腹具合などの内部状態監視機構も備え、それらをリカレントのニューラルネットで構成しています。入力情報を処理する中間のニューロン素子は、多すぎるとチューンナップに時間がかかりすぎ、少なすぎると能力を発揮できません。そこで、ニューロンの結線値や、素子数などは遺伝子コーディングして、突然変異や有性生殖をするときの交叉によって変更を加えられます。一番逃げ延びた鴨の頭には王冠が付きます。この王様を見つけて、交尾すると自分の遺伝子を王様の遺伝子とミックスすることができます。また、体色の変化もニューラルネットの出力によって変更していて、他の鴨の色を感知できるので、何らかのメッセージパッシング手段として利用しているかも知れません。巣を作って上方向に逃げ延びることもできますが、餌となる草は地面にしかないので、あまり長いこと上にいると、餓死して昇天してしまいます。巣は物理演算の対象にすると、CPU負荷がかかり過ぎて、レートが落ちるので、固定剛体にしてあります。このため、下の巣が朽ち果てても、上の巣は落ちてきません。ひたすら天に向かって伸びていきます。観察者である猫が青と黒のタワーの上の鴨をジャンプして観察しに登りますが、ちょうどこのとき鴨が餓死して、頭に天使の輪がついて昇天していく様子が偶然撮影できました。このとき、ちょうどバックミュージックが『天国への階段』に切り替わったので、なんとも感動的なシーンに仕上がりました。巣の色も色とりどりですが、これもニューラルネットの出力なので、後世に何らかの情報を残しているものと思われます。

正に生死をかけた鴨の3D芸術です。全ての進化を制御しているのは、実は鴨の頭上にある **BREITENBERG** の看板です。私達が最も尊敬する神経行動学者の名前ですが、この看板が突然変異率等の制御を司っている、所謂『神』として存在しています。



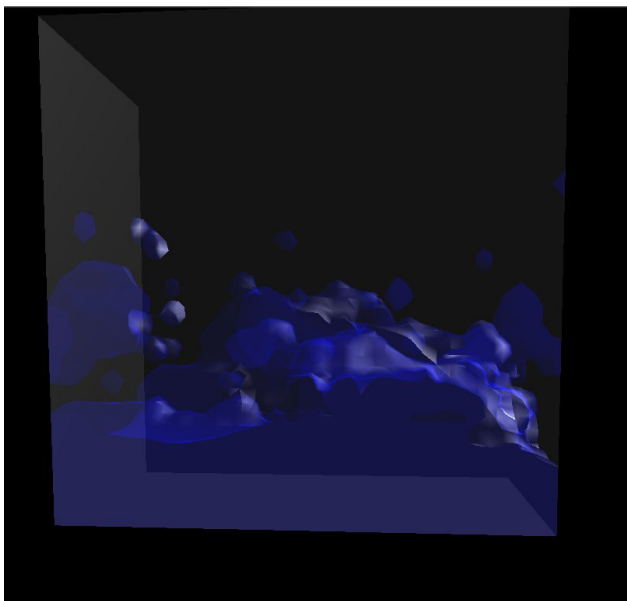
#### ④ シュールな世界

アートとしての **3D-NWS** の可能性を探ってみました。惑星の公転と自転もスクリプトによって記述してあります。アート以外にも、理科教材や社会科教材としてもネットワーク授業ができるような可能性を秘めています。また、専門の研究者の成果を一般向けに分かり易く解説するためのネットワーク3D展示ツールとしてだけでなく、リアルタイム超高速物理演算やネットワーク上で動的にオブジェクトを再構築できる特徴を生かして、専門家向けの発想支援ツールとしても応用展開が可能だと考えています。



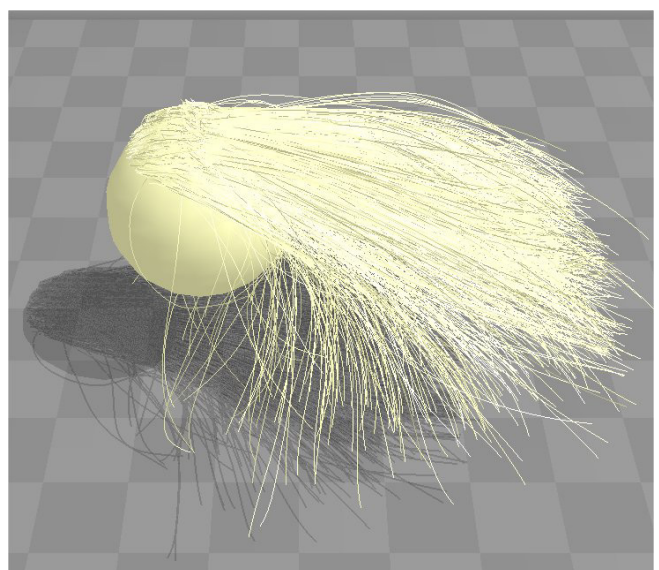
#### ⑤ 波しぶきと髪の毛

鴨のプールで使った格子振動子モデルでは、波がちぎれるようなことはありません。ここでは、別の表現としてメタボール方式での波のテストが行われています。箱を大きく揺すったときに、波しぶきが上がる様子をご観察下さい。髪の毛のサンプルでは2,000本の髪の毛が6万点で衝突演算を繰り返して、ウェーブを作っています。先ほどの波とあわせると、本格的な電気クラゲを波に浮かべることができます。



#### ⑥ 犬と猫の凧揚げ

凧の力学も全てエンドユーザー側のスクリプトのみによってテキスト文で記述しています。正に本物の凧のように、凧を持つ人と凧を揚げる人の阿吽の呼吸が大事です。ネットワーク上で遠隔地の場合には、次期システムで導入予定の生声のボイスチャット・システムで、『それ離せ!』っていう掛け声が聞こえてくる予定です。何度も失敗しながらも、うまいタイミングで凧が揚がる様子が撮影されています。三連の凧は実際にも揚げるのは難しいのですが、何度かチャレンジしてうまく揚げることができました。これをネットワーク上で共同しながらやると、凧揚げ合戦ができます。



## ⑦ ジャパネスク

日本特有の文化を海外にネットワーク上で紹介するためのサンプルワールドとして京都や奈良の町並みを参考にワールドの作成を行いました。リアルな感じを表現するために、公衆便所や神社、五重塔なども作りこんであります。トイレのポーズが不自然なので、来期はキャラクターもちゃんとしゃがんで、お尻を出せるようにしないといけないです。．．．トイレがアングルによって透けて見えると、かなり恥ずかしい絵柄になるので、それも変更しないといけません。なんだか、このワールドを散策しているとネットワーク劇場のシナリオを考えてみたくなります。



## ⑧ 夜とあかり

照明の持つ独特の雰囲気表現できるようになりました。神社から黄色のランプを持って近づいてくる様子を見てみると、やはりオバケ屋敷が作ってみたいとなりました。4のシュールで使った骸骨をスクリプトで動かして、⑤のメタボールで火の玉の表現をして、⑤の髪の毛を振り乱した口裂け女が包丁を持って『見たな～～！』と叫びながら、スクリプトによって墓場を延々と追いかけてくると言ったワールドは、既に作成可能です。



## ⑨ 爆弾スクリプト

パーティクルと煙を合体して、爆弾の表現が可能になりました。また、近辺のオブジェクトに速度を与えるようなスクリプトになっているので、爆弾が投げつけられると、当たったオブジェクトの周辺のオブジェクトも飛び散ります。ネットワーク上のカラスが慌てて逃げ惑う様子を御覧下さい。



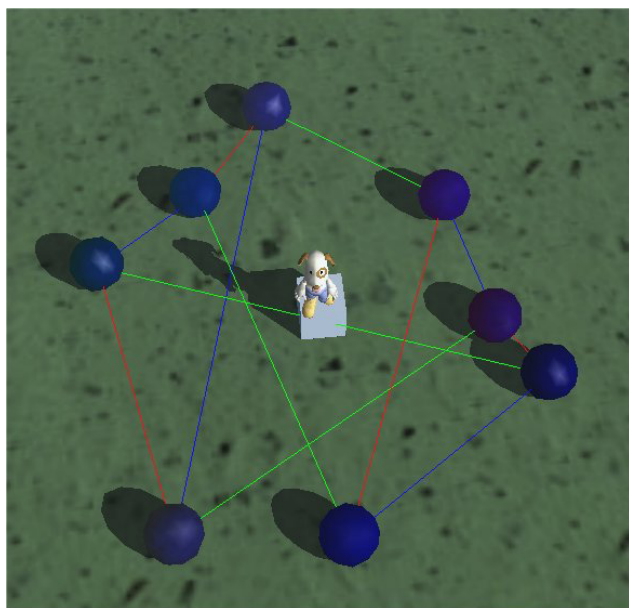
## ⑩ 焼き芋屋

実はジャパネスクの茶釜に、煙スクリプトとエミッションの周期的な変化をつけてみただけなのですが、軽トラックの上に置いてみたら、焼き芋屋さんのような感じになりました。ここでは、あまりすることもなかったのですが、トラックを切断してしまいました。どうもおじいさんキャラになると凶暴になってしまいます。．．．



## ⑪ 非線形振動子ネットワーク・モデルによる虫の歩行実験

CDやチューナなど、ありとあらゆる電子機器に搭載されている **PLL IC** (Phase Locked Loop IC) は位相制御素子として、実に興味深い性質を持っています。ここでは、スクリプトによって、位相制御振動子を各ボールに実装して、バネの伸び縮みの制御に使っています。各位相振動子どうしに非線形の相互作用ネットワークを組み込んだのであるので、位相差がロック（フェーズロック）される局所安定なパターンが数多くあります。ボールをひっぱったりすると、元のパターンに戻ることもあれば、新たなパターンに転移することもあります。モゾモゾと歩く様子を見ていると、これとメタボール表現を組合わせて、アメーバーの進化実験をやってみたくくなりました。



## ⑫ 風車とカモメ

風車やカモメなども、とても簡単なスクリプトで動いています。このようなダイナミックな動きが、極めて単純なスクリプトと物理演算の融合によって生成されていることにご注目下さい。実際のカモメの全スクリプトも画面に表示されますが、

**InOrderLoop()**・・・順に以下の命令を実行して下さい。  
**standUp()**・・・カモメが風車の羽に当たって、物理演算でクルクルと回転したりしたら、姿勢を元に戻して下さい。

**rotateZ(3.14/8, 0)**・・・左に少しだけ回転して下さい。

**moveForward(5,1,40,200)**・・・カモメから見て、(5,1,40)の方向に0.2秒かかって移動して下さい。

**Wait(600)**・・・0.6秒の間一呼吸して下さい

といった簡単な命令だけで、あれだけ生き生きとした飛行の表現が可能となっています。今回のプロジェクトで最も感動した技術要素の一つです。

次のプロジェクトでは、アクション要素を子供でも理解できるような、わかりやすいアイコンで表現して、アイコンを配置して、これらのアイコンを線で結ぶだけで、スクリプトが自動生成されるインターフェースを開発してみたいと思っています。ネットワーク上でユーザー達がさまざまな3Dオブジェクトや自慢のスクリプトを交換したり、サーバーに登録して自由に利用できるように

すれば、正にワールド拡張の可能性は無限大で、ワールド自体の進化はノンストップです。また、どのような力を考えたら、うまくゲームが作れるか、といったアイデアが必要なので、『遊ぶための数学・物理学』が子供達に必要になります。『なんで三角関数を覚えるの？何の役に立つの？』といった愚問は、**3D-NWS**では生まれてきようがありません。『遊びたいければ、学ぶ！』それがモットーです。私のポリシーとして、大学院でも扱わないような4次元の数学、クォータニオンであっても、その本質をその辺をうろついている子供に半日かかっても完全に理解させられなかったり、興味を失わせて話を聞かなくなったりしたら、その子の理解力不足ではなく、私自身の説明力や興味を持続させる話術のレベルが低いことを意味していると考えことにしています。事実、数学の落ちこぼれを自称する学生達に、このような題材を教えて、学生達に他のクラスの先生として授業を行ってもらった経験が何度もあります。子供達の興味を持続させて、『公式』などというイヤらしいものに頼らず、全てを子供達の日常の感覚だけで理解を積み上げることが大事です。教科書もメモも何も持たずに、公園で棒切れ一つで、地面に書いて説明しながら、子供が仲間の子供に嬉々として、クォータニオンの数学（これに限ったわけではなく）の魅力を、一切の証明抜きで最後まで説明しきれるように教えることは、必ず可能だと信じています。そのための題材として **3D-NWS** は、最強の環境を提供してくれるプラットフォームであると思っています。



### ⑬ ペーゴマ遊び

ペーゴマには、姿勢を戻す操作と回転の操作のたった2つの命令だけで記述されたスクリプトを適用しただけですが、ワールド上で動く物には全て物理演算が働くので、回転するペーゴマ同士の衝突も計算されます。ペーゴマ、ボーリング、缶けり鬼などのゲームはネットワーク上でいくらでも考え出すことができます。



このワールドには天使と怪盗ゾロの2人のキャラクターが参加していて、まず、【Ctrl+R】を押し、自分のアバターである怪盗ゾロを動かしているマシンの所有権を表示させます。

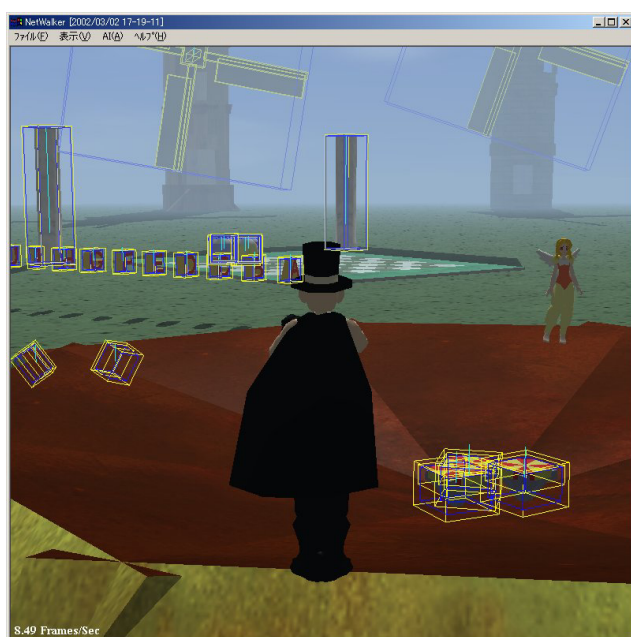
全てのオブジェクトに対して、黄色の枠の内側に、灰色の枠が描画されています。灰色の枠は、そのオブジェクトの所有者ではないことを表しています。現在天使のいるマシンが全てのオブジェクトの所有者となっており、ペーゴマの衝突などの物理演算と、スクリプト処理を実行しています。怪盗ゾロ側では何も処理を行っていないので、23.90 と、高いフレームレート(下図)が表示されています。

### ⑭ オーナー管理システムに基づいた負荷分散の実演

前回のシステムでは、ワールド内の物理演算を、最初にセッションを開始したマシンが全て行っていました。そのためサーバマシンに負荷が集中し、システム全体としてのパフォーマンスに限界がありました。今回はそれを解決し、より大規模で表現力の豊かなワールドを実現するために、負荷分散制御システムを導入しました。ワールド内での処理を分散させるために重要なことの一つは、ワールドの同期処理です。中でも複雑なのは、複数のキャラクターが同じオブジェクトに対して異なる処理(切ると掴むなど)を行おうとしたとき、どちらを優先するかという排他制御です。**3D-NWS**では、処理の対象となるオブジェクト毎に所有権を設け、所有権を持ったマシンがそのオブジェクトに対する処理を行い、排他制御の決定権を持つことにより、これを解決しました。そして、その所有権を動的にマシン間で移動させることにより、動的な負荷分散制御が可能となりました。実際に所有権が移動し、それに伴って負荷も移動する様子を、次図で説明します。



ここで **[P]** キーを押すと、この全てのオブジェクトの所有権が、怪盗ゾロがいるマシンへ移します。

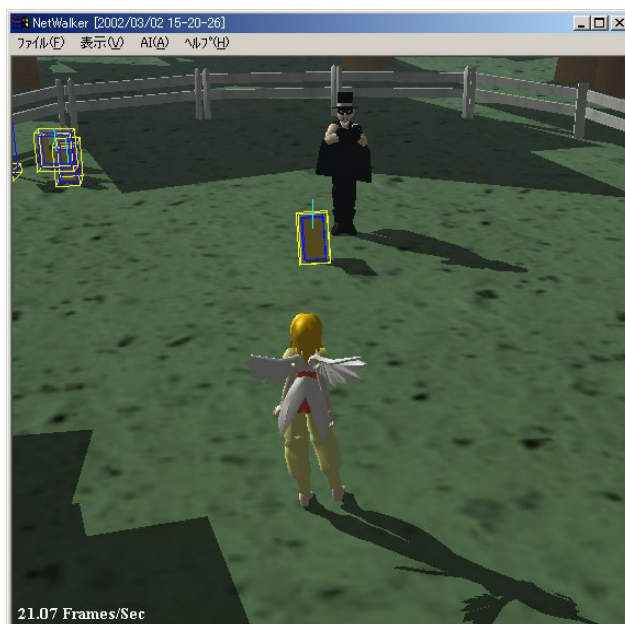


全てのオブジェクトの枠が青くなりました。同時に全ての処理も怪盗ゾロ側に移動し、フレームレートが 8.90 と激減しました。所有権と同時に、負荷も移っているのがわかります。もちろん各オブジェクト単位で所有権を移すこともできます。

また、スクリプトと負荷の分散制御技術を自由に組み合わせることで、さらに応用範囲は広がります。『負荷を遊ぶ』という少し変わった発想の応用例を次図に示します。従来のサーバーの負荷分散制御技術では、いかに負荷を分散させるかに焦点を当てていましたが、負荷を雪合戦の雪球のように、相手チームに投げつけることができるという、ある意味『負荷のなすりつけ合戦』とでも言った感じのパラドキシカルなゲームです。



天使が今掴んでいるオブジェクトには、相手のキャラクターにぶつけると、その所有権、つまり物理計算やスクリプト計算の負荷が、ぶつけられたキャラクターのマシンに移るという恐怖のスクリプトが組み込まれています。



そのスクリプトが組み込まれたオブジェクトを、天使が怪盗ゾロめがけて投げつけました。まだ空中を移動中なので、枠は青く、天使のマシンが物理演算を担当していることがわかります。



オブジェクトが怪盗ゾロにぶつかってはじかれしました。とたんに内側の枠が灰色になり、天使が所有権を失ったことがわかります。怪盗ゾロは、オブジェクトをぶつけられた瞬間、そのオブジェクトの所有権を取得し、以降そのオブジェクトの物理演算は、怪盗ゾロのマシンで行われることになります。

### ⑮ 茶釜の芸術とハンマー投げ

焼き芋屋で使った茶釜どうしをバネで結んで、空中に固定したり引っ張ってみたりしました。切断したときにバネの描画が空中に残っていますが、これは見なかったことにして下さい。．．茶釜を二つにして、タイミング良くキャラクターを前後に移動すると、茶釜をハンマー投げのように、ブンブンと振りまわせます。これだけで1時間以上楽しめました。最後にブンブン回して回転速度が上がったときに持っていた茶釜を切断したら、もう一方の茶釜をものすごく遠くに飛ばすことができました。オリンピック競技のようで、とても気持ちよかったです。



### ⑯ 星空と宗教的表現

やはり夜には、星が瞬く満天の夜空が必須です。エミッションをつけた十字架も用意してみました。拝む動作をつけて大勢をひれ伏させて、光輝く天使を登場させることも可能です。宗教法人版営業セット、なんちゃって...



### 3. 最後に

以上のコンテンツの撮影に使用したマシンのスペックは、

|           |                             |
|-----------|-----------------------------|
| CPU:      | Pentium4 1.7GHz             |
| Memory:   | 256MB                       |
| Graphics: | nVIDIA GeForce3             |
| Sound:    | SoundBlasterAudigy          |
| OS:       | WindowsXP or Windows2000Pro |

です。

この程度のマシンは最近では12万円程度で購入できてしまいます。

また、XBOXもnVIDIA GeForceのチップを使っているの、移植することにより、ほぼ同様なスピードで動作するものと思われます。

ただ、スクリプトで本格的なニューラルネットと進化エンジンを搭載した動物を30匹入れたワールドを作るとなると、かなりのCPUパワーを必要とします。

Pentium4 1.7GHzでも10フレーム/秒を割るので、かなり描画はカタカタとしますが、それでも、これだけの機構を内在したワールドを実時間で描画できるのは脅威です。来年はさらにスペックの高い4GHzクラスのCPUがリリースされることが既にインテルから発表されているので、CPUの負荷はそれほど問題にはならないように思っております。

本来であれば、本体プログラムとコンテンツ一式、もしくはフルサイズの動画ファイル一式を、添付したかったのですが、残念ながらいずれも容量が大きいため、本CD-ROMに全てを掲載することはできませんでした。大変小さくした動画ファイルを収めていただきましたので、Windows Media Playerでご覧いただければと思います。

近々、

<http://untrod.keihanna.ne.jp/>

にて**3D-NWS**を公開する予定ですので、興味ございましたら、ご覧いただければ幸いです。

最後になりましたが、私達のチームの個性的なプロジェクトの進め方を寛大なお気持ちでお許しいただき、毎月行なわれるデモ発表会で、常に励まし続けていただいた竹内郁雄教授に感謝いたします。