

### 3. 記念講演

## IT社会へ浸透したコンピュータグラフィックスの進化 ～広島から世界へ～

広島修道大学教授・東京大学名誉教授 西田友是（電46）



ご紹介、ありがとうございました。西田といいます。このような同窓会に呼ばれるチャンスがありまして、非常に名誉に思っております。

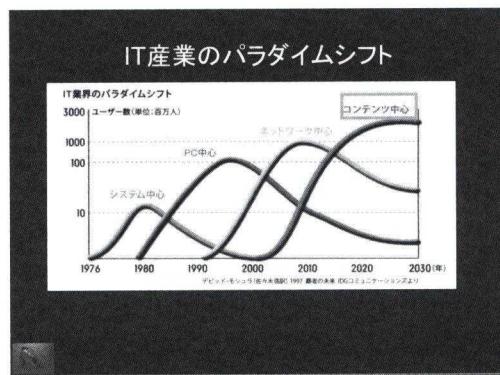
では、今日は「IT社会へ浸透したコンピュータグラフィックスの進化」ということで、特に副題として「広島から世界へ」と、ちょっと生意気な話ですが、広島こそ日本におけるCG（コンピュータグラフィックス）のメッカと信じておりますので、そういうお話をしたいと思います。

パイオニアという意味で、砂漠の真ん中の。実は、コンピュータグラフィックスはユタ州のユタ大学で一番栄えたのですが、ユタ州にある風景、私自身が撮った風景をスライドに使っております。

今日はITうんぬんというタイトルですので、IT産業について少し考えると、昔はシステムの研究が中心でPC中心とかネットワーク中心、近年はコンテンツと言われるものがIT系の中の代表的な産業となっております。「コンテンツとは」ということを考えますと、映像とかゲームとかがあります。特に映像は4.5兆円の産業と言われています。

世界を見ますと、もちろんアメリカがかなり頑張っています。日本は安定してずっと頑張っていますが、最近、中国がどんどん日本に迫ってきてているとい

う状況です。こういったIT系の中でのコンテンツ産業を支えているのがコンピュータグラフィックスではないかということでお話をさせていただきます。



これは、2013年に出た新聞ですが「アニメとか知財を保護する」というタイトルで、政府の方針としてコンテンツ創造立国を宣言されました。特に、このアニメで代表されるコンテンツ産業が日本の産業を支えるということで、政府も力を入れているわけです。

そういうことで、現代のIT社会というのはCGが浸透している。例えば、テレビとかノートパソコン、携帯端末、携帯電話が一般化しましたので、日常的にコンピュータグラフィックスが目に入っている状況です。例えば、映像、ゲーム、バーチャルリアリティ教育支援とか、災害の予測、最近は3Dプリンターなどが注目を浴びています。こういうふうに、我々の生活に欠かせない一つの技術としてコンピュータグラフィックスが挙げられると言えます。

ここにありますように、映像、映画の世界とか、ゲームとか、医療とか、建築のCADとか、さまざまなものにコンピュータグラフィックスを使った映像が使われてあります。最近ではニュースで清原か誰かの、これは裁判所に入れないので3次元CGで再現して裁判風景をやっておりましたが、こういったものも

よく利用される時代になりました。



コンピュータグラフィックスは何のためにやっているかというと、写実性、本当に写真と変わらないようなリアルな映像をつくるのも一つの目標で、ほかに形状をどのようにするかとか、材質、これはミルクのようなものですが、どういう材質感を出そうとか、これは人間の内臓、実はこれは私の内臓のCG画像ですが、数年前に手術をして、その時のCG画像です。あるいはこういった動き、これは顔の表情、流体とか、さまざまなものに応用されます。そうすると、例えば動きを表現しようとしたら流体力学が必要とか、いろいろな照明、多重散乱、こういった技術的なものを開発する必要が出てきたわけです。

まずは、コンピュータグラフィックスのパイオニアのお話をしたいと思います。サザーランド (Ivan Edward Sutherland) という人が、当時、MIT (マサチューセッツ工科大学: Massachusetts Institute of Technology) におられまして、スケッチパッドシステム (Sketchpad) というものを1963年に開発しました。この写真が、その時の様子です。こちらの写真は最近の彼ですが、この眼鏡をかけた人がモニターに向かって作業しています。これが世界で初めて計算機と会話して図形を書いたものです。

彼がユタ大学に移りまして、その時の生徒は人間の顔とか手を動かしたりする映像をつくった。これが代表的なアニメーションの最初です。これをつくった人はエド・キャットマル (Edwin Catmull) といいまして、この人は後に、今、有名なピクサー社 (Pixar Animation Studios) をつくりました。

このサザーランドは、まだ生きておりまして、2012年に京都に来られましたのでこの写真のように私と一緒に写っている。今は大学の先生をしておられます。

ユタ大学に勤務した後は会社を転々とされて、会社を辞められた後に、再度大学の先生になっておられます。この人が「コンピュータグラフィックスの父」と言わされた人です。このキャットマルという人は、この写真で私の隣に写っている人です。



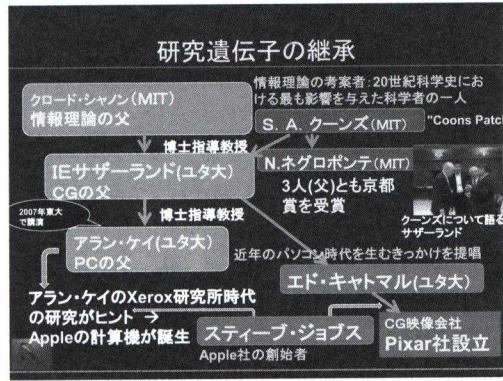
今、サザーランドの話をしましたが、サザーランドの指導教授がシャノン (Claude Elwood Shannon) という人で、情報理論の基礎をつくった人です。この人が博士の指導教授で、サザーランドがMITで博士号を取得され、ユタ大学に移って、その時の弟子にアラン・ケイ (Alan Curtis Kay) というのがいました。このアラン・ケイは、後にゼロックス社 (Xerox Corporation) に移るのですが、この人が今のノートパソコンのようなものを予測しました。あるいはイーサネット (Ethernet) とか、ユーザーインターフェース (user interface) とか、オブジェクト指向といった考え方方、このアラン・ケイが世の中に提唱されました。

このように3代有名な人が続いて、この3人とも京都賞を受賞されました。このサザーランドの弟子のキャットマルさんが、先ほど出たピクサーという会社をつくったのですが、そのピクサー設立を支援したのが、有名なアップル社 (Apple Inc.) をつくったスティーブ・ジョブズ (Steven Paul "Steve" Jobs) です。こういった話は、また後ほどもします。

このサザーランドの博士の審査をした人にクーンズ (Steven A. Coons) という人がいまして、その弟子がネグロポンテ (Nicholas Negroponte) で、この人が、MITのメディアラボをつくりだした有名な人です。このように相関図を書いていますが、有名な人々は、みんな繋がっていることが言えます。

先ほどサザーランドがユタ大学に移ったのは、エ

ヴァンス（David C. Evans）教授が大きな金を手に入れて、ユタ大学にCGの研究室をつくるために呼んだわけです。それで、エヴァンス教授とザザーランドと一緒に研究室をつくったわけですね。



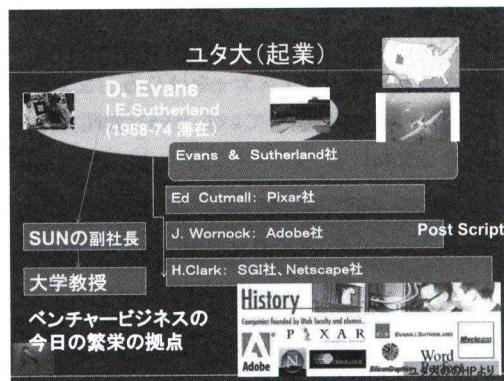
ザザーランドがゴーグルのようなものをかけて、いわゆるバーチャルリアリティの基になったようなものは1962年にザザーランドがやりました。このスケッチパッドとか、これらの写真は、シリコンバレーにある計算機歴史博物館に展示されているものを私が撮影したものです。

このユタ大学は、先ほど言ったようにエヴァンスさんがザザーランドを呼んだことで随分発達しましたが、それだけではなく、彼らはエヴァンス・アンド・ザザーランド (Evans and Sutherland) という会社を大学のすぐ傍に設立しました。これはフライトイミュレーターの会社です。

そして、その弟子のキャットマルがピクサー社をつくり、さらに弟子のワーノック (John Warnock) が、皆さんよくご存じのアドビ社を設立しました。また、SGI社 (Silicon Graphics Inc.) とかネットスケープ社 (Netscape Communications Corporation)、昔、インターネット・エクスプローラー (Internet Explorer) の前はネットスケープを使っておられたと思いますが、こういった会社を創設したクラーク (Clark) は、皆、同じ研究室の出身者です。同じく、カジヤ (James T. Kajiya) とかブリン (James F. Blinn) とかランスウイリアムズという人がいますが、彼らはマイクロソフト (Microsoft Corporation) に異動し、民間で大活躍しています。

ユタ大学のホームページに行くと「大成功した起業家がいます」といって、この画像のようにどこかで見たような、特にアドビの記号は皆さん見ておられる

と思いますが、こういう成功者がユタ大学から随分出たわけです。



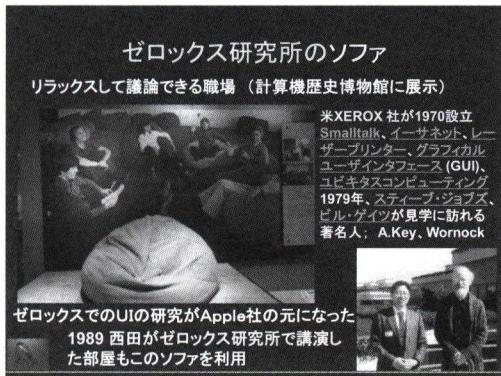
彼らが頑張ることができたのはゼロックスのおかげです。皆さん、ゼロックス社はコピー機として記憶しておられると思いますが、実は計算機関連の大きな研究所を持っており、その研究所に、今、言った多くの人が在籍しました。イーサネットとか、レーザープリンター、グラフィカル・ユーザーインターフェース (Graphical User Interface)、ユビキタスコンピューティング (Ubiquitous Computing) といったキーワードは、このゼロックスの研究所から現れたわけです。コピー機ではなく、むしろ計算機の世界で今の世の中に随分貢献しました。

その研究所を見学に行ったのが、スティーブ・ジョブズとビル・ゲイツ (William Henry "Bill" Gates III) なのですね。それぞれアップル社とマイクロソフト社を立ち上げましたが、こういった有名人たちが、この研究所の研究を見学に行きました。そこでアラン・ケイを引き抜いて、スティーブ・ジョブズはアップルのいろいろな機能を持った計算機を開発するようになったわけです。

実は私も1989年にゼロックスで講演しました。実はこのソファも計算機歴史博物館にあります。なぜかというと、このゼロックス社はソファを使い、リラックスして座ってお話を聞くということなんです。そういう画期的な自由な職場をつくったから、先ほど言ったようないろいろな技術が生まれたと言われています。

私が講演を行った時も、部屋に入って驚いたのは、みんなソファで寝転んでいるんです。寝転んでいる前で私は講演しました。朝、起きたら、このように計算機に取り込まれた生活になるんですという映像を、私はここを訪問した時に一番最初に見せられました。ま

さに iPad や iPhone のようなものを毎日持つて生活するということを、この時代にこのゼロックス研究所ではもう予測しておられた。それは私自身にもいい刺激になったし、ここの研究所があったから、今のイーサネットからレーザープリンターをはじめ、さまざまな IT 技術で今、我々は潤っているという素晴らしい研究所があったわけです。

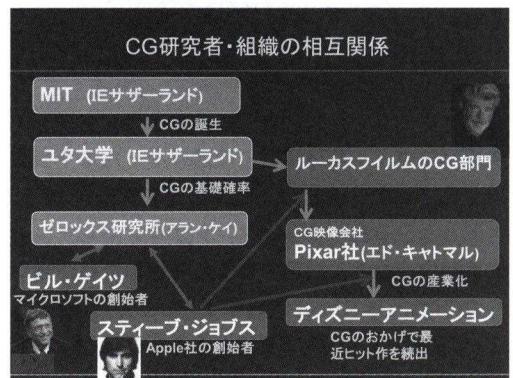


その中にアラン・ケイという人がいまして、この人がオブジェクト指向プログラミングとか、コンピュータユーザーインターフェースの設計などで頑張ったわけです。コンピュータリテラシー (computer literacy) という言葉をよく使いますが、実は彼がつくった言葉です。彼の論文で、将来は子どもたちが携帯の計算機前に座っているというのを、当時、予告したんです。彼が言った「未来を予測する最善の方法は、それを発明することだ」という有名な言葉も博物館に展示してあります。



もう一回、サザーランドとか、その弟子との関係を言いますと、まずサザーランドの弟子のキャットマルがルーカスフィルム (Lucasfilm Limited)、『スター・ウォーズ (STAR WARS)』の監督のいる会社に映画

部門をつくります。しかし、たぶんルーカスの離婚問題か何かでルーカスフィルムは金に困ってしまう。そして、そのころは例のアップル社をつくったスティーブ・ジョブズがアップル社から追い出されていた時代で、金はあるけれども仕事がないという時に、これはいいというので資金を出してつくったのがピクサーという会社です。そのピクサーがさらに進み、今はディズニーの配下になっています。実はディズニーもほとんどつぶれそうになっていた時だったらしいのですが、ピクサーが入ってくれたおかげで、今、すごく売り上げがいい状況に立ち直ったわけです。そういう経緯があります。

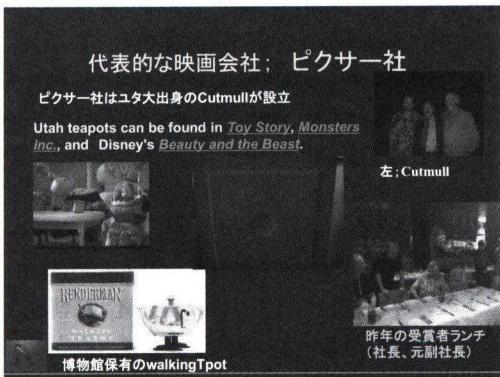


それだけではなく、ゼロックス研究所でビル・ゲイツがいろいろ見学したおかげで、マイクロソフトという会社をつくった。そして、この2人（ビル・ゲイツとスティーブ・ジョブズ）がいろいろけんかをしたりした物語、いろいろな映画が残っていますが、これはゼロックスに立ち寄ったことがきっかけで今のIT時代をつくった基になっております。

先ほどから話題にしているピクサー社は、多くの映画をつくっています。昔は、ピクサーという名前の計算機を売っていました。これは去年撮影した写真ですが、これが今のピクサー社長のキャットマルさんで、当時の副社長のスミス (Alvy Ray Smith) さんです。私はこの正面にいました。後で言いますが、私はこの社長と同じ賞を頂いており、その受賞パーティーがありますので、私は毎年、彼らと一緒に食事をするチャンスがあります。

世の中で初めてのコンピュータグラフィックスの映像は、実はディズニーが制作した『トロン (TRON)』という名前でした。私が学生時代でしたが、その後、ピクサーが発展して、こんなにたくさんの映像をつ

くった。ピクサー映画の最初にでる電気スタンドは「ルクソール Jr.」と言われています。



実は今日まで東京でピクサー展をやっています。日本人の若者も非常にたくさん見に行っていましたが、今、日本の若者のあこがれのディズニーやピクサーという会社です。

先ほど、同じ賞を取ったと言いましたが、これはロサンゼルスのコンベンションセンターという所で、写真中で私はここにいます。この学会は3万人ぐらいが参加するシググラフ (SIGGRAPH) という学会です。私が受賞講演をした後、先ほど出たジョージ・ルーカス (George Walton Lucas, Jr.) が講演しました。1時ぐらいからの講演だったのですが、11時ごろからコンベンションセンターを何重にも取り巻く列がありまして、私のためにこんなにお客さんが来るのかと驚いたのですが、よく考えたらジョージ・ルーカスの講演と私の講演が同じ舞台だったということです。



それはクーンズ賞という名前の賞で、2年に1人だけ、生涯を通してコンピュータグラフィックスに貢献した人に与えられます。アジアでは私一人です。副賞としてこんな彫像をもらいました。これはクーンズ曲

面でできていて、ここに私の名前が漢字で書いてあるのですね。ですから、この賞をもらった人で漢字が書き込まれたのは私しかいないと。CG分野では、ノーベル賞と言われております。

再度コンピュータグラフィックスの歴史をさかのぼると、1963年にサザーランドがやり始めて、最初は線しか描けないベクタースキャン (Vector Scan) だったのですが、それからラスタースキャン (Raster scan) というスタイルに変わり、SIGGRAPH という学会が1974年にできました。以後、黄色い字で書いてあるのは受賞者です。

CG History (受賞者含)	
1963 late '60s	Sutherland's Thesis Vector Refresh
1970 mid '70s	Bezier Curve Raster Systems
1974	SIGGRAPH Z Buffer (Catmull)
1978	Bump Mapping (Blinn) Shadow Mapping (Williams)
1980	Ray Tracing (Whitted) Geometry Engine (SGI)
1982	Soft Shadows (Nishita)
1985 early '90s	Radiosity (Cohen/Greenberg, Nishita) Virtual Reality & AR
mid '90s	Image Based Rendering (Debevec)

黄色はCoons賞受賞者

細かい手法は今日は控えますが、これらがバンブマッピング (Bump mapping) を開発したプリンとか、これがレイトレーシング (ray tracing) を開発した人とか、これがイメージベースドライティング (Image-based rendering) と言われる技術を開発した人たちで、私が一緒に写真を撮ったものを載せています。私はこのころ、1982年のソフトシャドー (soft shadow) とかラジオシティ (Radiosity) 法が評価されたわけです。

今日は、CGの一般的なものではなく、私の作品を中心に紹介したいと思います。というのも、一般的な写真をたくさん使うと著作権の問題があり、配付資料が必要ますというときにいろいろ支障があることが過去多かったので、極力、自分の作品を中心に説明します。

私が広島にいた時代と、東京に移ってからの時代と二つに分けてお話ししたいと思います。この広島の時代が、特に「広島から世界へ」と書いておりますが、本当にそうだったのかお聞き下さい。

ここには、シググラフ (SIGGRAPH) という学会に採択された論文の代表的なCG画像を載せておりま

す。例えば1985年から始まりまして、これは36歳、これは65歳の時です。何年かに1回ずつ、シググラフで論文を発表するチャンスを得ています。これはなかなか難しい学会で、日本人なら20倍ぐらいの競争率。最近では、一般的には5～6倍の競争率と言われていますが、アジア人には少し不利な状況があります。そこで出した代表的な論文を基にお話ししたいと思います。



ここは同窓会ということもありますので、私の広大時代とか、東大時代とか、どういう背景があるかを少しお話ししたいと思います。

1963年にCGが始まりましたが、私は1970年に7年遅れて大学の学部生の時に研究を開始しました。そのころは、こういったXYプロッターで線を引いたり、ラインプリンターに重ね印字したりする方法でしか絵は出せなかったわけです。

そして卒業後、マツダに6年間いましたが、私の指導教授の中前（栄八郎）先生がカラーディスプレーを手に入れたということもあって、私は会社を辞めてCGの世界に戻った。それが30歳の時です。

1994年から東大で講義を開始しましたが、実は1993年から広島修道大学でコンピュータグラフィックスを教えるチャンスを頂いており、東大より先に広島修道大学で非常勤として授業をして、定年になったので戻ってくるチャンスがあったというわけです。

東大で約20年間、CGの講義をしておりました。最初の5年は非常勤で、との15年が専任としてです。延べで45年間、コンピュータグラフィックスの研究をしておりまして、シググラフという学会は我々の分野では非常に影響力があるのですが、この間に20個の論文を発表できました。日本の一般的なCGの先生というのは、1または2論文ぐらいが限界です。ですか

ら、20個というのは極めて珍しい例です。

では、少し振り返りまして、世界では、先ほど言ったMITのザザーランドが始めた。この写真がユタ大学です。これはなぜティーポットかというと、「ユタのティーポット」というのが有名で、例えばオープンGL (OpenGL) というグラフィックスライブラリを使いますと「Teapot」と書くだけで、この絵のデータが入っているライブラリーもあります。そのぐらい、CGの世界で teapot は有名です。

一方、広島大学は、中前教授を中心として発展してきました。ですから、アメリカはユタ州、結構田舎ですが、日本は西条ということで、少し遅れたかもしれませんのが日本ではこのように発展しました。

これは、私が今までにやった研究分野を分類したものです。照明効果とか、自然現象とか、形状処理とか、ゲームでされるようなインタラクティブなもの、あるいはノンフォトリアルスティック・レンダリング (non photorealistic rendering) という墨絵とか油絵のようなもの、また計算機を使った写真の処理といった広範囲に及びます。



これをYouTubeで見てもうと、このように流体とか、ティーポットからの光の相互反射とか。これは、私がつくった約100以上の映像を全部コンパクトに縮めているので、早く行きすぎて分かりませんが、こういう色の問題、物がぶつかった問題。これは金属の反射といったようなさまざまなもの一気に100ぐらいのものを濃縮して見てもらいました。

今日は同窓会ということもあるので振り返りますと、昔の卒業研究の発表というのは、こんな感じでした。紙をぶら下げてやって、この時に「絵を描いて遊ぶのが卒業研究か」と言って非難された記憶があります。今日、講演の声をかけて下さった松尾さんも計算

機センターで知っているという関係があったのですが、その当時は広大に1台しかない計算機を学生がみんな使っていたので、それで絵を描くとはふざけていたという感じがありました。だから仕方なく東大まで行ってベクタースキャンを借りていました。このころのモニターはモノクロですが、最近はCGの技術で色も付けられます。

これはマツダ時代です。今では無人の車の開発が流行っていますが、電気で走っている無人の車というのは、当時マツダはもう完成していました。法律で無人で走るのは危険だというので結局つぶれただけで、当時、無人車は完成していました。それはともかく、中前研究室がカラーディスプレーを手に入れたというので、それを転機に私は大学の教員に移ったという経緯があります。



大学院のころに書いた論文が海外の教科書に採用されました。そのころのCGは、先ほども言いましたが重ね印字とかXYプロッターで描いたものです。こういったことしかできない時代ですが、影等を計算できるので、そういう論文を書きました。これは大学院の時の論文が、この本に紹介されたわけです。



陰影を計算するには、光源とか、照明とか、影とか、材質、大気の効果、こういったものが重要です。それらの中で、スライド中黄色で書いたのは100%バイオニアとは言いませんが私が最初にやったものです。ですから、こういったいろいろな技術が広島から生まれたということを強調したく思います。

例えば、建築の先生から頂いたデータで、日本間ですが、配光曲線は、ここに電球があると、こういう光しかできませんというのでやった例です。こういったことから始めて、この辺りしか照明がないですね。今のCG技術では普通ですが、光が一部分だけ照らされるというぐらいでも珍しかったわけで、この画像は先ほどから出ているシググラフという学会の裏表紙に採用されました。



ほかにも、面光源とか円柱光源、たくさんの円柱光源から、これは天空光と言われている空全体が光源、その他、光の筋、これは光跡といいます。こういうまぶしい、グレアとか言われたりします。こういったもののさまざまな効果の表現法を開発したわけです。

これが代表的なもので、ここに光源が大きさを持ちますと、ぼやっとした影になります。例えば、皆さん目の前の影を見て下さい。くっきりした影なんかないですね。みんな、ぼやっとした影です。なぜかというと、光源がたくさんあったりすると影がぼやけてきます。部屋の中では、そちらのほうが普通ですね。なのに、以前のCGは、くっきりした境界を持った影しかできませんでした。それで、このようにぼやっとした影ができるCG画像の例です。これを半影といいます。

先ほどから「ピクサー、ピクサー」と出ているのですが、実はこの論文を発表したら、そっくりなのがピクサーから出てきました（前述のルクソールJr.）。これ

だけではなく、後からいろいろピクサーとの関連も言います。



これが、日本で最初に発表した、当時、手書きの論文です。これは最終的には TOG (Transaction of Computer Graphics) という学会誌に採択されました。この写真が当時の中前先生で、線光源による CG 画像がアートギャラリ分野で採択されて、ボストンで展示会に展示された時の様子です。これが1982年です。



この画像は、当時、使っていた計算室の CG 画像です。これは面積を持った光源ですね。少し影がぼやっとしている。こういった効果を最初に表現したわけです。これも時間の関係で省略します。

そのように、線光源とか球とか天空光とか、光源がさまざまに進歩してきました。それはなぜかというと、点光源なら影がくっきりしますが、大きさを持った光源なら、本影、周りに薄い半影という部分を持つ。これをきちんと計算しようということになったわけです。

光の相互反射まで考えた技術は、今ではラジオシティ法と呼ばれています。1985年に、私どもとコネ

ル大学が同時に同じセッションで発表しました。コーネル大学の研究者はラジオシティという名前を使い、日本人は英語のタイトルづけは不得意ですので、コーネル大学が使ったラジオシティ法が、この種の技術の名前になりました。

もともとラジオシティというのは「熱放射」という意味があって、彼らは機械系だったのですが、熱の放射理論から発展してやったわけです。我々は、光の照明からやりました。それにしても、影がぼやっとしたり、壁からの反射までいろいろ考慮した映像ができます。ですから、影が半影とか、直射光が届かない部分も照射されるとか、カラーブリーディング、後で言いますが色がじみ出るといった効果までできるのが特徴です。私が1984年に照明学会で最初に発表して、1985年にコーネル大学と同時発表になったわけです。

Radiosity法(相互反射光)  
光の相互反射を表現する方法  
西田・中前(1985)  
Cohen(コーネル大)らによって開発

Radiosity法の効果

- 1) 影が半影(ぼやけた影)を伴う。
- 2) 直射光が届かない部分も、相互反射による間接光により照射される。
- 3) 反射面の色が隣接する面に影響する(カラーブリーディングと呼ばれる)

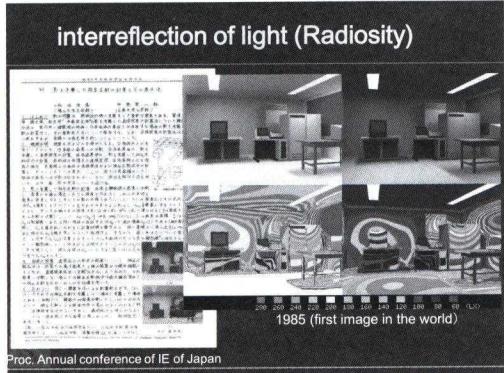
Univ. of Tokyo

これは直射光だけで、こちらは相互反射まで考えて、これはその時の数値、どこが何ルクスというもの。このころ、私は福山大学時代で電気機器研究室だったので、CG のための研究をやると言うと叱られますので、照明に役に立つとか何か、照明設計のためのシステムと言うために、数値が幾らで何ルクスかを色パターンを使って表現しました。部屋をつくる前に、どこが何ルクスになるか予測できるという理屈を言っていた時代です。

そういったものが、CG の世界の有名な『コンピュータグラフィックス：プリンシパルズアンドプラクティス (Computer graphics : principles and practice)』という本に採用されて、こういった写真を海外の教科書にも載せていただいて、このジムフォリーさんというのは、昨年、訪ねて来られて一緒に食事をしました。

例えばブルースカイスタジオ (Blue Sky Studios)、これはハリウッドで有名なところですが、この画像も

先ほどから出たラジオシティ法を使っています。ですから、影がぼやっとしていたり、光の分布が非常にきれいでいます。この画像は、建築会社が実際に建築物をつくる前に、間接光がどのようになるかを予測したものです。こういった映像の世界や CAD の世界で、このラジオシティ法というのは有効利用されております。



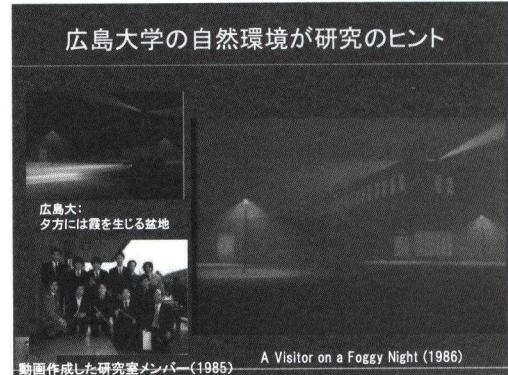
先ほど出たコーネル大学は、こういう箱を例題にやりました。昨年開かれた国際会議、7,000人ぐらい集まつたアジアでの国際会議にブースを開きました。これは私を宣伝するためのブースでした。この箱の実物大をつくりまして、ここにずっと列があるのですが、この部屋に行くと、この女の子、ユニティ (Unity)ちゃんが隣に来てくれて、一緒に写真を撮ってくれる。遊びのようですが、実際こういうブースができました。

これは、光の相互反射を実物との関係でやってみましょうという試みです。ですから、この写真、この画像のように私のほっぺたが赤くなったりしていますが、こっちは赤い壁でしょう。こちらが青い壁ですが、このCGの女の子と、実際の写真の私とがうまく同期して、壁の色も反射している。こういう技術をラジオシティといって、これは日本発の技術ですよというのを宣伝するためのブースでした。

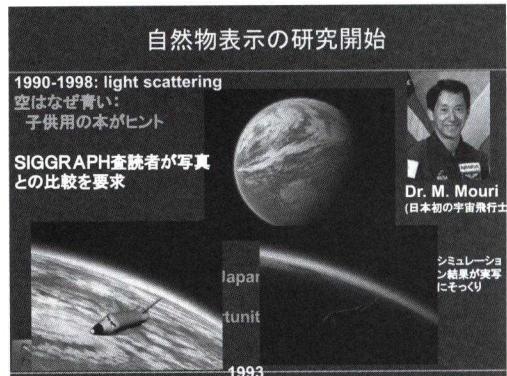
その後、自然のいろいろ、砂漠とか、地球、水とか、さまざまなものも研究したわけです。特徴的なのは、この光の筋で、これを光跡といいます。光の跡、あるいはシャフト・オブ・ライト (Shaft of Light)、あるいはボリューム・ライト (Volume Light) と言います。これは、この煙の影がここに計算できているんですが、こういった技術です。

ここに広大の学生さんたちがいますが、西条という所は、夜、いつもかすんだりしたのもあって、しかも

私はマツダにいたこともあって、ここに走っている車はマツダ車ですが、この車のヘッドライトは実際の配光特性のデータを使い、光がどういうふうになるかを計算しています。光の筋のような効果を出した映画も、シググラフに採択されました。



次に、この地球の色を計算する方法を紹介します。地球は空気の粒子で囲まれていますが、空気の粒子に光を当てるとき、その波長に依存して反射光の色が決まる。そして、実は大気の色は青いんです。ですから、こういった効果を実際に計算機でシミュレーションしました。私は宇宙に行ったことはないのに、宇宙から見たらこんなふうに見えるよという映像を作成しました。夕になると、太陽の角度次第では赤くなったりします。

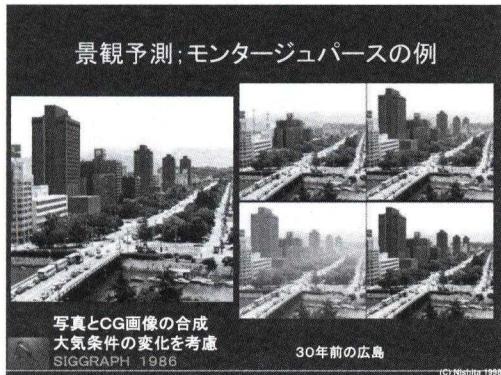


シググラフという学会は私の人生に大きく影響するのですが、そこにこの地球大気の論文を投稿したら「本当かどうか分からぬじやないか」と文句を言われましたので、当時、毛利さんが唯一、日本人として宇宙を経験しておられたので、毛利さんの所へ行き、毛利さんが実際3,000枚ぐらいのスライドを撮っておられたので、一日一緒にいて写真を見せて頂き、関連

スライドお借りし、その比較画像と一緒に投稿したら、「どうだ、本物とよく似ているだろう」ということで論文は採択されたわけです。

このように、コンピュータシミュレーションというのは実際に体験できないものが体験できる。ここで言うと、宇宙へ行けるはずはないけれども、宇宙に行った時にどう見えるかが計算機で予測できるという、シミュレーションのいい例でした。その15年後に毛利さんはお台場の博物館の館長になられたのですが、当時、広島市立大学、今は北海道大学の准教授が、さらに我々の技術をバージョンアップしてくれて、かなりリアルな空がリアルタイムで出るようになったので、それを報告に行った時の様子がこの写真です。

次の例は今日の講演にぴったりのもの。これが我々が今いるホテルですが、当時、このホテルが建つ前の様子です。ホテルが建つ時に、なぜか建築会社と関係がありましたので図面を頂いて、このANAホテルができる暁にはこんなふうに見えます、しかも遠くにいるところなどに見えるとか、それだけではなく、雨の日はこう見えて、晴れた日はこう見えるというのをコンピュータで予測するCG画像を作成しました。ですから、写真を撮ったときの条件は何であろうと、晴れたり、曇ったりすることができるし、ビルをどう建てて、どう見えるかもシミュレーションできるということです。これは既に30年前に我々がやったことです。逆に言うと、このホテルは30年前にはなかったのですが、こういった景観予測もやっておりました。



次は水の色についてです。水の色も水の粒子との関係で色が決まるわけですが、水の色とか光跡とか、光の筋が見えます。これを光跡、シャフト・オブ・ライトと言います。この画像はイルカではなくてシャチですが、こういう水の色とかコースティックを表現する

技術も学会で発表しました。



次に、この映像は三つの大学が一緒になってつくりました。ここに、光源がありますが、光源が水の中にはあってもきちんと計算する。これは当時のCGですからね。これを実写と思う人がありますが、CGで光源が水面の上にあったり下にあったりしても、光の様子を計算できるわけです。特に、この水中でシャチが泳いで、こういう筋がうっすら見えると思います。それと、このパターンがある。こういった水中の光学的効果も計算できるようにしたわけです。

その後に『ファインディング・ニモ』が登場しました。ある海外の研究者が私を誰かに紹介する時は、「『ファインディング・ニモ』の基になったのは西田のおかげだ」と言うのですが、ちょうどタイミング的にはそういう感じがあったかもしれません。

この写真の人は、やはりユタ州ですが、ここの大学に1年滞在するチャンスを得て、こういうレイトランキングという方法で、曲面を多角形に分割しないで精度良く計算できる方法を開発しました。このように映り込みとか表現できます。



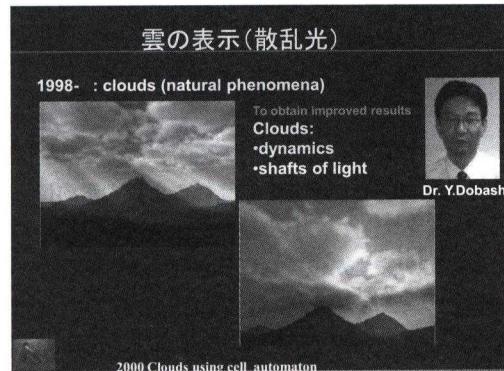
これは実際の実用化の例です。日本のある会社が、

私の論文を読んで実際に商品化して、デザインを評価するCGシステムを発売されたわけです。これは曲面などが随分きれいに出ていますが、曲面を精度良く表現する方法を開発したわけです。



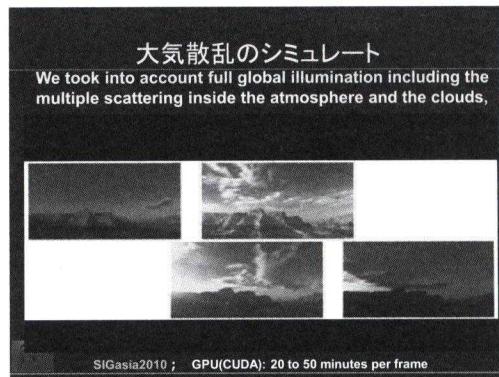
次は、東京に移ってからはどんなことをしたかというお話をしましょう。

一部広大時代を含みますが、こういう雲の表現とかをやりました。これは土橋（宜典）先生が実際につくられたのですが、雲がだんだん生成されて、今、朝ですから朝焼けで少し赤いです。色が変わりまして、雲と雲の隙間から光が漏れるわけですが、そういう効果とか、雲がどのように生成していくかというので、地面にきちんと影がありまして、光の隙間からの筋、これをシャフト・オブ・ライトといいますが、こういった効果もきちんと計算できるという方法を開発した次第です。これが夕方になって太陽の色が変わると、雲の色が変わるという例です。

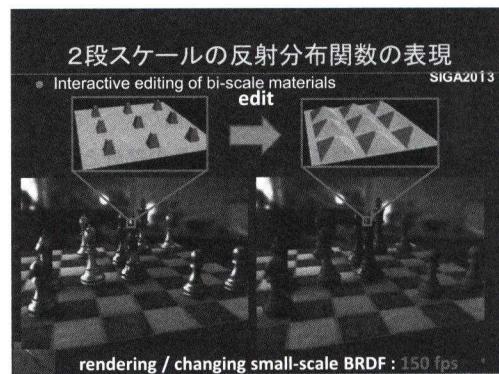


次の映像は東大の学生がさらに発展してくれて、これはグランドキャニオンですが、この地形はもちろんデータですが、あの雲とか空の色は、全部、計算でやっています。夕日になるとどうなるとか、朝からだ

んだん晴れてきて、雲も移動していますが、要するに雲の色、空の色、光の影、光の筋といったようなものも全部コンピュータで計算できるということです。



それだけではなく、例えば、ある金属の表面を見ると、でこぼこしています。このでこぼこの仕方をユーザーが切り替えると、見え方が変わんですね。そのように材質を自分で編集すると、どう見えるかも計算できるわけです。金属がどのように反射して見えますかというのも計算できます。



さらに、粒子でできている砂粒のようなもの、髪の毛も粒子の集合としてあるんですが、こういったさまざまなものも開発しました。あるいは、太陽のプロミネンスと言われているものから、泡とか、雪とか、これは油絵のようなものとか、さまざまものを開発していました。最近では流体、ぼちやっと落ちて、どろどろと溶けていったら、これはチョコレートのようなものが溶けたりしますが、こういったシミュレーションなどもやっております。これはGPU (Graphics Processing Unit) というハードウェアを使って、リアルタイムで噴水のようなものを表現したものですね。

さらに近年では、コンピュータで絵を描くのが中心ではなくて、物をつくるところに着目しています。例えば、カメラに特殊な加工をします。ぐるぐる回るようにすると、手ぶれをしても後からぶれをなくすことができる。モーションブラー(motion blur)といいます。新幹線が走っているのを撮ってはけていても、このカメラで撮ったものなら、そのぼけが取り除けるという技術も開発しました。こういった技術をコンピュテーションナル・フォトグラフィ(Computational Photography)といいます。

あるいは、こちらはカメラのレンズに三原色のフィルターを置きます。それだけで、そのカメラで撮ると奥行きが計れます。さらに、いろいろな小さな半透明のアクリルの棒をつくって並べて、それに光を当てると、隠されていた画像が浮かび上がるものとか、これはアクリル板ですが、光を当てると何かが浮かび上がる。

これは子どもたちが遊ぶレゴで「こういう形をつくってほしい」と言うと、計算機で設計して所望の組み合わせ形状をつくります。この写真のテーブルもそうです。このテーブルは人間が使っても壊れない強さをきちんと保証しています。このように、ただCGで絵を描くのではなく、CGの技術を使ったものづくりもいろいろやっております。

例えば、ある写真を撮ると、背景の部分とそうでない部分の距離を自動的に測って切り取ってくれるという技術です。それを使うと、背景を入れ替えたりするのが自由にできる。これは中間結果です。この黒い部分と灰色の部分と白い部分で、この灰色の部分をさらに計算すると、髪の毛レベルまでくっきり切り分けることができます。そうしておくと、これは今、背景を入れ替わっていますが、この人が全然違うところにいるような映像もつくりだすことができる。それだけではなくて、ピンぼけ画像をつくりたりすることも、RGBのフィルターを付けたレンズを前に少しかませるだけで、これができるという技術です。

これも、ここに板がありますが、板が少しでこぼしています。光の屈折で、光を当てるとこんなものが現れる。この例をお見せしますと、今こういう板を持っています。ちょうどiPhoneみたいなサイズです。それに光を当てるとマークが浮かび上がります。ですから、隠し絵というか、板に光を当てると絵が出ます。しかも、場所を変えると違う絵も出ます。この

辺にあるとある絵が出て、この辺にあると別の絵が出るとか、複数画像を投影することができるわけです。

こういうふうに、コンピュータグラフィックスといったら、皆さん、映像だけをイメージしておられるでしょうけれども、我々は最近はこういうものづくりにCGを応用しています。3Dプリンターというキーワードが多いですが、これもアクリルを切削器で、NCマシンで表面を削る。そうすると、削り具合のでこぼこで画像が浮かび上がるという技術ができたわけです。

例えば、これが目標の形状ですが、計算機でシミュレーションをしたら、こんなレゴになった。これは本物の写真を撮ったものです。これは15cmだから結構大きなものですが、計算機でレゴをこのように組み立てなさいといって組み立てると、きちんと壊れないレゴができます。普通にやっていくと、首が折れたり、強度がもたなかったりということがあります。これは強度をきちんと計算して、重心がどこに来るかとかも計算して、こういう設計をしてくれるものです。先ほど言いましたが、このテーブル、青い部分があってテーブルがありますが、この上で誰かが作業をしても壊れないというレゴができるわけです。

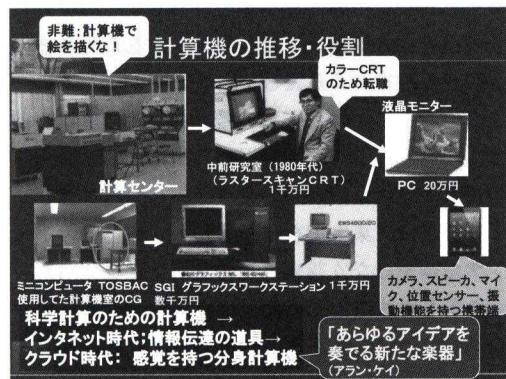


この映像は、私が顧問をしている東京大学内にある会社がつくったものです。最近、津波とかいろいろ話題になっていますが、これはもう古いですが、2008年の津波のシミュレーション。こういったCGの応用もあります。

この部屋で計算機を使われたことがある方もいると思いますが、千田町にあった広島大学の計算センターです。ここのおかげで、私の今の研究の基があるということです。カラーディスプレーが手に入ったからという時代がありますが、今ではiPadぐらいでも。私

は最近ゲームエンジンというのを使ってプログラミングしています。まさにiPadでCGのプログラムが組めます。そういう時代になりました。だから、昔は何千万円するものが、今は数万円の中学生でも持てるようなものでCGができる時代です。ワークステーションと言われたものを買ってやっていた時代から、今は簡単になったわけです。昔は、科学計算のための計算機でした。だから「絵を描いて遊ぶな」と言われた時代があって、インターネット時代で、情報を伝達するのが重要視されて、今ではクラウド時代といえます。

しかも、アラン・ケイによると、感覚を持つ分身計算機になったといいます。なぜでしょう。まず、このiPadでも、カメラがあって、スピーカーがあって、マイクがあって、位置センサーがあって、振動（バイブレーター）もあり、人間の五感をほとんど持っています。だから、分身だと言える時代。アラン・ケイによると、あらゆるアイデアを奏でる新たな楽器だととえました。この人は研究者でもあったけれども、ジャズのギター演奏家でもあったんです。そういうことで楽器になぞらえました。



今日のテーマは「IT社会に浸透した」ということですが、まさに簡単に手で持て歩ける携帯端末でCGができるような時代になり、まるで人間の分身と言えるようなときですね。それで一応まとめですが、国もコンテンツ産業立国だと言っていた時代もありますし、コンテンツといえばCGが大事ということで、CGはビジネスのプレゼンテーション、その他いろいろ書いておりますが、製品設計とかシミュレーションとか、いろいろ役に立つということです。

今日は、広大の卒業生として来たわけですから、日本のCGの貢献は、ラジオシティとか半影とかもあります、広島発の技術が今のCGの基礎に影響してい

るというのも少し強調したく思います。

この講演が終わったのではないのですが、先ほども言いましたジョージ・ルーカスの後に私が講演したので、ジョージ・ルーカスの『スター・ウォーズ』をまねて、こういうものをつくった。これは、私の履歴が英語で書いてありますが、私の受賞講演をジョージ・ルーカス監督が見ているというので、こんなものをつくりました。

さらに、講演の付録ですが、私は腸を患いまして、これはメタボール（Metaball）という技術で書いたCGです。この部分を30cm切り落としました。4年半ぐらい前です。その時の映像を少しお見せします。



これが、左の画像がCT画像で、これから3次元CGにした例です。お医者さんは手術の前にリンパ腺とか血管を重要視しているらしいのですが、私の腸を切るときに間違って血管を切ったらいけないというので、私のCGの3次元画像を見て、暗記された。私の場合は腹腔鏡というので五つ穴を開けて、遠隔で私のおなかを切られたのですが、そういうときのために3次元CGが随分役に立ち、これがなかったら私の命は危なかったのではないかと思います。最先端のCGの技術でこういうのがあるから、実際に腹を開けなくて、私がわずか9日で退院できたのは、こういったCG画像に基づいて手術していただいたおかげです。

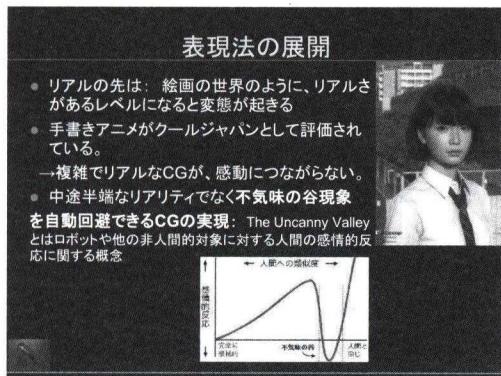
さらなる付録（補足）ですが、UEIリサーチというの、私が東大を定年になった時に、UEIという会社の社長が「このまま研究が途絶えるのはもったいない。俺が金を出すから研究所をつくれ」と言われて、研究所を設立した。これは、その時『朝日新聞』に載ったニュースです。

それを2年半やっていると、今度はドワンゴという会社がさらに資本力があるというので移籍しました。

偶然、このページの隣にこの絵があったので、この絵の説明は後でします。まさに東京のど真ん中で、銀座の歌舞伎座の上のビルの15階ですが、スカイツリーが真正面に見えます。まだ、こちらにもう半分あります。これが私の研究室ですが、ここにテーブルとか私の席がある、社長室より大きな部屋を歌舞伎座の中にもらいまして、今やっております。質が高いかどうかは別としまして、地価が日本一高い研究所かもしれません。

この絵の話になります。これは慶應の先生がつくれたのですが、不気味の谷を越えたと話題の女の子 Saya というので、偶然見つけました。それをちょっと補足します。これはロボットの世界で言われるそうですが、ある程度ロボットがリアルになってくると、ある時突然、不気味の谷があって、またリアルになると。これを「不気味の谷」と言います。

コンピュータの世界も、リアリティを横軸として、リアルがあるところまでいったら、何だかつまらない絵になり、またリアルになる。その不気味の谷を越えた絵ではないかということで話題になっていたのを見つけたので少し紹介します。これは本物ではなくて CG の女の子ですが、これぐらいになると、私たちの目で判断がつかなくなり、百聞は一見にしかずではないですが、人間の目はまるで信用できない時代に突入したぐらい、CG は進歩したと言えるでしょう。



最後に謝辞ですが、中前先生が指導になって、今日は山下（英生）先生も来ておられます。大学時代にはこういった先生方にお世話になりました。現行の研究室は、金田（和文）先生が教授です。また、留学中にはこういう先生、そして長年の共同研究者、今でも一緒にやっていますが、彼などにお世話になったということが言えます。もし、興味があったら、私のホー

ムページに行くと、200以上のCG画像とか100以上の動画がありますので見て下さい。

ということで、以上です。質問等がありましたら。

○司会 西田先生、どうもありがとうございました。

ここで、若干の質問時間を設けておりますので、どなたかご質問がありましたら挙手をお願い致します。

○会場1 講演の中で少し話があったのですが、シググラフへの論文の採用が、西田先生は20件で、ほかの先生はせいぜい1件、2件かなということで、先生の論文がたくさん採用されたポイントはどういうところにあるのでしょうか。どうして、ここまで大きな差が出たのかなと思いましてお伺いしました。

○西田 難しいですね。それはもちろん、普通は論文のアイデアで決まりますが、今、思えば、CGの学会ですから絵が美しいというのも関係があるかなと。特に中前先生は絵心がありまして、やはり中前先生のコメントで、ちょっとした見る方向を変えた絵をつくるだけでも見栄えが変わるとかいりいろあったから、私の若いころの論文は中前先生のちょっとした示唆がいろいろ影響して採択率が上がったかなと思います。

後半は、東大でやったもので、もちろんアイデアだけではなく、東大生の英語力に支えられたのかかもしれませんし、そういう意味で、私はいい環境でできたから論文が通ったのもあると思います。

また、それだけではなく、この論文のためなら命をかけるぐらいの気概でやっていました、ひどいときには4日ぐらい寝ないで映像をつくるものもありましたから、頭脳の良さではなくて、執念のほうが多いのではないか、それで採択率が上がったのだろうという気がしております。

○会場1 ありがとうございました。

○会場2 興味深いお話、どうもありがとうございました。プレゼンの中で、実際の人間ではなくて、CGでほとんど生身の人間と変わらないような映

像ができていたと思うのですが、それを延長すると、映画とかが、いわゆる生身の俳優とかを介さずに全部 CG ができるのではないかと思っていますが、それができるのは、あとどれくらいのタイムスパンで完成されるものなのでしょうか。

○西田 今でも、例えば『ファイナルファンタジー』が成功しなかっただけで、あれも全部 CG のキャラクターでしたから、技術的にはもう完成していると思います。ただ、やはり時代がたたないと受け入れられないのと、『ファイナルファンタジー』の時代は、まだ皮膚感とかに限界がありました。今は表面下散乱法というのが開発されて、皮膚の中に光が入り多重散乱して出でていって皮膚の色が決まるのですが、そこまで計算して皮膚感を出します。ですから、本当に人間の肌らしいものが出来るようになりましたし、技術的にはもう完成していると思います。

あとは、ストーリーをつくる人が、いかに感性良くつくるか。実際、アニメ会社の人に聞くと、技術はいいのだけれども何か足りないと、人間らしさが足りないというところが指摘されているので、その人間性の部分が伴うようになると、いつでも全部 CG の画像が出てくると思います。

最近、人工知能がはやりだし、人工知能で物語を書くというのも今年は話題になりましたが、そういう意味では人工知能等も絡み合ってくると、本当に全部 CG、今でも全部 CG の映像はたくさん出てきていて、自然さがあるかどうかで今からが勝負だと思いますが、そんなに遠くはないと思います。

○会場3 差し支えない範囲でよろしいので、これからどういうことをやろうとされているかということについてのお話を伺えないのでしょうか。

○西田 一つの大学を定年になりましたし、命が限られてきましたから、どれだけのことができるかはちょっと自信がないのですが。

少なくとも修道大学では講義中心でやっているから、研究が今から進むかと言わわれたらあれですが、東京のほうのチームは若い人がいて、特に流体の計算とか、ものづくりを CG だけではなく、

CG を使って 3D プリンターでつくるを中心やってくれています。

と言いながら、私自身も実は今でもプログラミングをしていて、ゲームエンジンというのを使って、今は CAD システムに便利な、いわゆる物体と、曲面と平面が接近したら、どれだけ近づいたかというのを多角形に近似しないで解ける方法を組んだりしていますので、私個人は CAD システムに利用できそうなものを、まだこつこつと一人でやっていくでしょうし、組織としては、3D プリンターに代表されるようなモノづくりの研究とか、流体のような研究を今からやっていくと思います。むしろ若い人でどんな人が入ってくるか、東京のチームにどんな人が入ってくるかで決まるのであって。

なぜかと言いますと、例えば MIT もそうしたのですが、いろいろな仕事を人の人を混ぜてボトムアップするのがいいのか、天才的な人がボスでいて、その人が指示を出してやるのがいいかというと、この分野はボトムアップの時代だというふうに MIT の方針が変わったのだそうです。

それと同じように、若い人の中でいろいろなものから何かが現れて、それを取り上げて研究するほうが、よりいい研究になると。なぜかというと、私たちは iPhone を使ったりするのも下手くそで、本当の需要も私のような高齢者では追従できない。皆さんは若いからあれですが、私も四捨五入して70歳近くなると本当の需要は見えないです。だから、若い人たちがやりたいというのを自由にやらせて、それをまとめるという研究体制のほうが、こういった分野の研究には向いていると思います。

ですから、私が何をやりたいかではなくて、ど



ういう人を仲間に入れて、その人たちが日常生活の中から、今からはこれが大事だというのを言ってくれるのを大事にする研究のほうが今風でいいのではないかと思っております。

○会場3 ありがとうございました。

○会場4 今日は、いろいろ面白いものを見せていただい、ありがとうございました。

どんどん技術が進んでいるのがよく分かるのですが、ビジネス的にいいますと、特許はどうなるのでしょうか。学校の関係の方は、みんなが使っていいのか。でも、きれいなものほどいいもので売れるわけで、誰かが特許を持って、それで押さえていくような世界なのか、そこら辺を教えて下さい。

○西田 特許は関係ないわけではないです。特許を取る人もおられます。私の生徒の何割かは企業と掛け持つ人が多かったから、彼らは特許を申請した後、論文化しているということで、確かに特許は関係していましたが、成功した事例は世界中で全く聞いたことがない。

先ほど、私と一緒にやっていたアメリカの人が、フリーフォーム・デフォメーション（Free Form Deformation）という自由に形を変えられる論文を書いて特許を取っています。しかし、みんなが使って、誰も特許料を払ってくれていない。それで別の曲面処理の会社をつくり、それはきちんとオートデスクという会社に自分の特許と会社ごと買い取られて成功されました。特許で守られた本当に少ない事例です。

特許を守るために何かしている暇があったら次の論文を書いたほうがいいというのが先生側の考え方で、特許で守ろうとしても、ソフトウェアは見えないから、自分の方法だとは言えない。私が開発したレイトレーシングでも言った曲面を多角形に近似しない方法というのも、特許を出さずに論文を書いたのですが、きちんと日本の某会社は私を会社の顧問にして、私が特許で文句を言つてこないように対策をされて、私を仲間に入れられて商売されました。

そのように、現実問題は特許でトラブルという

より、自分が最初にやったという証拠のために論文を出す程度で、特許で守られたという事例はほとんどないし、危ないときにはお金で論文の著者を仲間に入れて、大騒ぎにならないようにうまくされたりというので、特許を取って儲かったことはほとんどない。

私も随分特許にかかる経験をしました。だから、東京大学は特許を取るお金全部東大が持つてくれて、東大内で数件特許を取りましたが、全くその特許が使われるふうにはなりませんでしたので、結果的に見て学校の先生には特許は無関係だと思ったほうがよさそうです。

○会場5 本日は、貴重なお話を大変ありがとうございました。

私は実は重工系の会社で、計算力学の世界でずっと生きてきた人間で、強度とかそういう面でコンピュータと関わってきました。その勝手な思いで、コンピュータグラフィックスというと絵の世界だと思っていたのですが、今日の先生のお話で、強度も考えて物をつくるようなことが中に入っていると言われて驚きました。コンピュータグラフィックスとものづくりの強度関係。我々は有限要素法を使って物の強度のシミュレーションをよくしているのですが、コンピュータグラフィックスの世界でのそういった関係のお話をお願いします。

○西田 もちろん有限要素法もよく使いますし、強度の計算、先ほどのレゴでも、どれだけの重さをレゴにかけたら壊れるという実験をして、実験データをデータベースとしてやったりしています。特に流体の分野は、ナビエ・ストークス（Navier-Stokes equations）の計算式を解いたりするのが普通です。

私も始めた時は、CGは絵を描けばいいのだから一番楽ちんだと思って入ったのですが、今は式の固まりですよ。統計から有限要素法から流体計算。あるいは、先ほどの空の色でも、どういう波長が入るとどういう色で反射するとか、反射の特性なども全部計算機に、そういう関数を入れるようですね。光の屈折にしろ、反射にしろ、光の世界、力の世界、いろいろな分野の物理の本を読ん

でからCGのプログラムを組むのが今は普通になっている。

だから、最近は東大クラスでないと論文が採択されない。今、世界中でもCGの論文といったら、MITとか、スタンフォードとか、東大とか、有名校しか通らなくなつたぐらい数学力が必要ります。本当に数式が分からなかつたらCGの世界でも論文が書けないぐらいに進化しました。

専門学校などは、買ってきただソフトウェアを使って絵を描くだけに特化されておりますが、論文を書く側は、数学力がないチームは世界的な研究はできない時代に突入していますので、とにかく私たちは、物理の本からハンドブックから、機械の本から、さんざん読まないとCGはできない時代になっています。

○会場5 どうもありがとうございました。

○司会 大変活発なご質問がありまして、時間もだいぶ押してきましたので、質問はこの辺で終了させていただきます。

西田先生には、ご多忙のところ、私どものため

に有益な講演をしていただきまして大変ありがとうございました。私たちは生活のいろいろな場面で、写実性に富む豊かで精密なCG表現に接しています。それらを支えるいろいろな要素技術に広く関わっておられて、素晴らしい業績をたくさん残されていることに大変感動致しました。先生は、計算機でいかに表現を獲得していくか、バイオニアとして取り組み続け、広島から世界へと発信をされておられました。広島大学の卒業生として大変うれしく思います。

西田先生には健康に十分ご留意していただき、今後ますますのご活躍をお祈り致します。本日は誠にありがとうございました。

ここで感謝の気持ちを表すために、いま一度、盛大な拍手で先生をお送りしたいと思います。ありがとうございました。

○西田 どうもありがとうございました。

○司会 長時間のご清聴、ありがとうございました。  
以上をもちまして、平成28年度記念講演会を閉会と致します。

