

1. 最近の動向

自然主義が芸術史上でさまざまに議論されてきたこと、そして農業と品種改良（つまりは遺伝子操作）が時を同じくして出現したことは、本書の各論で取り上げられている。こうした話題とは異なり、私が特に論じたいのは、今日の哲学と技術の土台、そして、私がアートと遺伝学に関わるようになった重要な動機についてである。

1970年、モートン・マンデルと比嘉昭子（ハワイ大学医学部）は、（大腸菌の）細胞を塩化カルシウムで処理すると、ウイルスのDNAを取り込むようになることを発見した。遺伝子を組み換えたバクテリオファージのDNAは、1971年にポール・バーグによって初めて作られた。遺伝子組み換えバクテリアの生成に最初に成功したのは1974年、H・ボイヤール、スタンリー・コーエン、アニー・チャンらである。DNA分子を簡単に合成して組み立てる技術は、1980年代初期には広く応用されるようになった。合成DNAと遺伝子組み換えバクテリアを使った最初の芸術作品は、1986年に創作された。完全な機能を備えた合成ゲノム（合成ポリオ・ウイルス）が初めて生成されたのは、2002年のことである（Couzin 2002）。

人類はわずか30年間で、生命のない素材に〈生命〉を与える方法を学んだ。少なくとも、最初の数歩を注意深く踏み出して、アイデアに〈命〉を与える術を学んでいると言っても、決して大げさではないだろう。

2. 異星人

〈命のないものに命を与える〉ことを目指す、最も意味深長な例が、地球外に知能を持った生命体がいらないかどうかを科学的に真剣に探

索する試みだろう。なぜなら、この問題を探求するだけで、全宇宙に〈命〉を見出すことができるからだ。そうなると人間は、あの古臭いネタ——宇宙人による誘拐——を繰り返し思い出しでは妄想する。多くの人が抱く、この種のヒステリックな妄想は、性的で複雑な要因に満ちている。そこにあるのは、恐れと期待だ。

異星人から性的な関係を誘われた場合の態度は、明らかに恐怖症的であるが、人間から誘う場合は正反対である。たとえば、1960年代に制作された『スタートレック』では、宇宙船の船長のジェームズ・カークが他の種（地球外生物）の者たちとロマンチックな出会いを経験する。こうしたことはおそらく、最近発表された統計——アメリカ人の8人に1人は（地球の）動物とセックスしているという——に比べれば、それほど恐ろしくはないだろう。ジェームズ・カークを演じたウィリアム・シャトナーはカナダ人であることも、指摘しておかなければなるまい。

3. 怪物的な存在

興味深いことに、〈命のないものに命を与える〉物語では大抵、恐ろしい怪物的な存在が登場して、人間とロマンチックな、あるいは性的な交流を持つ。古典的な怪物的存在は総じて臨床心理学の実例と一致することがわかっている。〈我々の怪物〉は、すべて我々自身の化身なのだ。

アーティストたちは、現代科学的な意味ではないにしろ、少なくとも古典的な意味でキメラを創案した^{訳1}。身体の一部は人間で一部は動物という、複合的な要素から成る古代の神々の姿は、総じて異種混合の怪物的存在の恐ろしさを予測したかのようだ。遺伝子組み換え食品に反対している反遺伝学的なロビー団体や活動家を悩ませているのは、この〈怪物〉の恐ろし

さだ。それでも、これらの空想的な〈怪物〉は、人々に疑念を抱かせることなく、すでにさまざまな様相をとって存在している。

ホモ・サピエンスは、その多くの重要な遺伝子を、地球上の他の動植物と共有している。我々人間は、有能で比類なき存在を自認していたとしても、その遺伝子の約70パーセントはトマトの遺伝子と一致している。ホモ・サピエンスの遺伝子と、チンパンジーをはじめとする大型類人猿の遺伝子は、99パーセント近くが一致している。

想像上のものであろうがなかりうが、〈怪物〉は独自の進化を遂げてきた。しかも時間の経過とともに、磨きがかかってきたようだ。今日では、最新の科学的・技術的進歩にアクセスできる、最新の創造物となっている。神が介入することによって成されてきた、命のないものに命を与えるという技は、放射線とバイオテクノロジーという現代の代理人に引き継がれた。竜は、古生物学的に正しい恐竜^{ドラゴン}に取って代わられたが、ワシントン・アービングがその小説で取り上げた伝説の〈首なしの騎士〉は、〈無頭人〉^{ヘッドレス・ホースマン}——移植用の臓器を作るために生み出された頭部のないクローン人間——という、新たな想像上の〈怪物〉となったのである。

1世紀を超える時間をかけて、遺伝子学的に調整された〈怪物〉は地球上に溢れ、今では人間よりも大きな領域を占めている。映画『メン・イン・ブラック』に登場する異星人のように、我々の〈怪物〉は名前を隠して、そこらじゅうに山ほどいる。そして、その多くが、食品と関わりを持っている。

ここでもう一度、トマトを例にとってみよう。いわゆる〈オーガニック〉とか〈自然食品〉の店で入手できるトマトには、化学的な農薬や肥料が直接使われることは決していない。しかし、この最も純粋なトマトでさえ、厳密に定義され

遺伝子芸術の諸例

ジョー・デイヴィス

ば、〈怪物〉なのである。トマトがふっくらとして美味しいのは、干しブドウほどの大きさしかなかった先祖の正常補体³よりも多くの、自身の染色体の複製を有しているからである。

今日のトマトにDNAが追加されているということは、多くの遺伝子が何度も変換されたことを意味している。そのことが、本来の果実を巨大化させる効果をもたらしたのだ。大昔から、巨大化したトマトは栽培されてきた。トマトを様変わりさせたのが、伝統的な園芸技術であろうが、突然変異を誘発する物質であろうが、あるいは分子生物学に基づいた遺伝子組み換え技術であろうが、大した違いはなく、結果は同じである。トマトは〈怪物〉なのだ。ほとんどの人が、それを知らないだけである。

遺伝子組み換え食品への反対運動が始まってすぐに槍玉に挙げられたのが、〈フレーバーセーバー〉というトマトだった。遺伝子組み換えで作られて、〈通常の〉トマトよりも店頭で鮮度が長持ちするのが特徴だ。この品種の場合、染色体が追加的に作られることも、トマトのゲノムに遺伝子が追加されることもなかった。実のところ、フレーバーセーバーのDNAは、他の品種のトマトよりもわずかに少ないのだ。フレーバーセーバーは、(トマトを内部から分解させる酵素をコード化して)トマトを〈腐らせる〉遺伝子のひとつが取り除かれている。このことを別にすれば、フレーバーセーバーは他のトマトと何ら変わらない。

バラもまた〈フランケンシュタイン〉である。さまざまなバラの亜種のゲノム構造を部分的に組み合わせることで出来上がっているからだ。

やがて人間は、〈怪物〉の創造者であるばかりでなく、自分たちが創造した〈怪物〉に感染するバクテリオファージ⁴となり、〈怪物〉を食物にする者となった。その際、人間は間接的に自分自身を改造した。我々が今日食べている食料の原種を遺伝子〈改造〉しなければ、現代のホモ・サピエンスはこうして生き延びることはできなかった。我々人間は、原初のヒト科動物の表現型⁵を自分自身に再び与えなければならないが、そのためには、これら〈怪物〉である食材を集めて食べる必要があるのである。

歴史を振り返ると、我々人間は〈怪物〉の正体がわからずに困惑してきたが、異星人も人間と同じくらい困惑していると思うべきだろう。

4. 探索

我々が元々意図したことかどうかはさておき、まさにヒトという種になりすますために、我々は奇妙に誤った自画像を宇宙に発信してきた。その自画像は金属板に刻まれたメッセージとして、NASAの惑星間探査機であるパイオニアやボイジャーに搭載されて、太陽系外に向けて打ち上げられた。このメッセージは、異星人とコミュニケーションを取ろうとする、最初の真剣な科学的試みであると評価されている。

1970年代初頭から中期にかけて、パイオニアとボイジャーは、木星の重力場の助けを借りれば太陽系を脱出できるだけの十分な速度を出せるようになった。これらの惑星探査機は、人間が作った最速の飛行物体であり、現在、光速の約2万分の1のスピード——弾丸の何倍もの速さ——で進んでいる。

パイオニア探査機のメッセージ板には、さまざまな視覚的な情報が記載されている。たとえば、太陽系と探査機の軌道をだまかに示した地図、「パルサー」と呼ばれている準恒星状天体の座標系(これは、関心を抱いた地球外生物を太陽系付近へ導くためのものである)、パイオニア探査機そのものの画図、ホモ・サピエンスの一般的な男女を描いた線画などである。その人物像は、体毛やひげを帯びていない、手入れの行き届いた体つきのコーカソイド⁶である。男性像は、腕を上げて掌を開くという謎めいた仕草をしており、その性器は〈適切に〉描かれている。一方、男性像よりも小さく描かれた女性像には、性器は全く描かれていない。

パイオニア探査機の次に太陽系外に出発した、2機のボイジャー探査機に搭載されたメッセージでは、NASAの決定によって、裸の人類を描く試みは一切排除された。もちろん、このような検閲が異星人のために行われたわけではない。

言うまでもないことだが、我々は異星人についてほとんど何も知らない。コミュニケーションを取る相手は異星の〈動物〉に決まっている、と考えるとしたら、それは極めて自己中心的な見解である。柔軟な考えを持つ研究者であれば、相手は知的な植物、あるいは植物に似た存在かもしれないと考えるだろう。人体の細胞と同様、植物の細胞も真核性(つまり、核を有しているということ)であり、バクテリアなどの原核生

物の特徴である単純な細胞とは異なっている。もっとも、こうした見解もまた、近視眼的であろう。

先カンブリア時代には生物の大絶滅が起きた。その原因が何であれ、生物学分類上のあらゆる種類の生物が、比較的短期間に一掃された。この大絶滅が起こらなければ、これら未知の生物は、今日の地球上の動植物とは全く異なるものに進化していたかもしれない。つまり、いつかは見つかるかもしれない異星の生命体よりも、地球上の植物のほうが我々の期待に応える可能性が高く、もっと容易にコミュニケーションを取ることができるかもしれないのだ。

ウィトゲンシュタインその他の人々は、知的な種にとって数学的知識が必須であると主張しているけれども、そう決めつけることは近視眼的なのかもしれない。ついでに言うと、この宇宙に存在する人間以外の実体にとっても、我々が考えるような〈知性〉が重要であるとは限らないのだ。

しかしそれでも、〈知的〉な生物が存在するならば、それは〈性的〉な存在でもであると断言できるだろう。なぜなら、生命体が進化・発展するためには、遺伝物質を交換しなければならないからだ。ジョシュア・レダーバーグが1958年にノーベル賞を受賞したのは、バクテリアも性交することを発見したからだ。バクテリアも遺伝物質を交換して進化する。事実、バクテリアは地球上に生息した最初の生物だとされており、(大腸菌の場合は)約20分ごとに1世代を生み出すことができるので、厳密に言えば、我々人間よりもはるかに高度に進化しているのである。

我々人間は意図的に、あるいは偶然に、我々の不寛容をことさら強調していると解釈されかねないメッセージを何度も宇宙に送ってきた。我々のメッセージは、異星人には人間の姿かたちを知る資格はない、と言っているようなものだ。異星人が人間を誘拐して性器を調べている、という報告を疑うべきではないのかもしれない。

1974年、天文学者たちは地球外生物とコミュニケーションを取ろうとして、初めて光速のメッセージを宇宙に送った。人類史上最速の飛行物体である宇宙探査機のパイオニアとボイジャーにしても、出せる速度は光速の2万分の1なので、最も近い恒星に到達するのに10万年を要する。残念な(あるいは幸いな)ことに、

バイオニアとポイジャーが目指しているのは最も近い恒星ではないので、少なくとも10億年はいずれの恒星の惑星環境にも入ることはない。

1974年、天文学者のフランク・ドレイクとカール・セーガンは、プエルトリコのアレシポにある100万ワットの送信機を使って、ヘラクレス座に向けてメッセージを3分間、光速で発信した。

ドレイクとセーガンは、二進法の計算が最も簡潔で、普遍的に許容可能な情報処理の形式であると判断した。また、異星人が数学を理解しているならば、素数や、いわゆる「ツェルメロ数」⁸⁷も理解できると考えた。たとえば、35という数字のように、それ自体と1、および2つの素因数(この場合は5と7)でのみ割ることができる数字群が存在する。ドレイクとセーガンはアレシポ天文台のレーダーを用いて、1679個の「オン」と「オフ」(つまり0と1)から成る信号を送信した。1679は、それ自体と1、23、73という素数でのみ割り切れるツェルメロ数である。知性を備えた異星人ならば、1679ビットのストリームを、23×73の格子状のラスター画像に変換することができるだろう。〈0〉と〈1〉に対照的な意味(たとえば「明」と「暗」)を持たせて、23×73の格子状の模様で示すことができれば、意図した画像が出現する。さらに期待を膨らませるなら、異星人は画像の組み合わせから、発信者が意図した情報を読み取るだろう。

バイオニアに搭載されたメッセージ板と同様に、アレシポ天文台のレーダーで送信されたメッセージを正しく読み取ることができたら、そこに描かれているのは、送信手段(アレシポ天文台のお椀型のレーダー)、太陽系の大まかな地図、線で単純に表現した1人の人間の姿である。これ以外にアレシポ・メッセージに含まれているのは、右回りのDNA螺旋図、5元素の原子量、ヒトゲノム中のDNA塩基の大まかな数、1974年当時の地球の人口である。

5. たくさんの瓶に入ったメッセージ

1989年、私はアレシポ・メッセージに着想を得た芸術作品をMITのヘイデン・メモリアル図書館に設置した。この《たくさんの瓶に入ったメッセージ》と題した作品は、通称「ポストン・ラウンド」と呼ばれる容量6オンスの市販の薬瓶(フェノール樹脂製の蓋付き)1679本を、大きな仕切り棚に並べたものだ。〈1〉の瓶は水入り、

〈0〉は空^{カラ}である。作品を展示したのは、図書館地下の〈書庫〉にある18本の廊下だった。ヘイデン・メモリアル図書館は、MIT付属の図書館の中でも最大級の施設だ。作品に込められたメッセージが言及している、あらゆる情報——それは、メッセージを解読するために必要な、あらゆる情報でもある——が収蔵されており、この地球上で平均以上の知性を持つ人々がこの図書館を頻りに訪れている。

しかし、誰もメッセージを解読しようとはしなかった。瓶を並べて通路に設置された棚が研究者たちの邪魔になるかもしれないという懸念は常にあったし、展示品がアートであるかどうかについても、相当の議論がなされた。明らかなのは、地球外生物とのコミュニケーションを図る際に生じる特有の問題と、人間同士でコミュニケーションを取ろうとする際に遭遇する問題は、少なくとも部分的には同じである、ということだ。

人間が地球外の知的存在とコミュニケーションを取る目的で作成したメッセージは、内容的に膨大だが、人間の本心を明らかにするものでもなければならぬ。アリストテレスが示唆したように、他人に本心を伝えるためには、まず自分自身が己の本心を知らなければならない。アリストテレスは芸術を論じた著作『詩学』で、この自己顕示という問題が悲劇にとって重要な要素であるとして、これを「認知と逆転」の原則と呼んでいる。事実、この「認知と逆転」は、芸術と文学の歴史全体に影響を与えるテーマだ。たとえば、こんな風に——聖杯を探して地の果てまで旅をする。その途上、母親を殺し、逆境に陥り、筆舌に尽くしがたい苦痛と艱苦辛辛に喘ぐ。結局、最後にわかったのは、聖杯は旅の間中、自分のポケットの中にあったということだった。

このテーマを土台にしたのが、『ジキルとハイド』、『白鯨』、『オイディプス』、『マルタン・ゲールの帰還』、『フィツカラルド』⁸⁸、『オズの魔法使い』などの作品だ。

〈他者〉は〈怪物〉と同様、常に内在している。どこに行こうと、何をしようと、この世界からどれほど遠くかけ離れた場所であろうと、そこで見つかるのは、自己の鏡像^{リフレクション}だけなのだ。アリストテレス的な世界観に従い、我々が最終的に宇宙の果てに到着しても、そこに聳える壁に我々の大脳皮質が刻み込まれていることを発見し、突如自身の脳内を見ていたにすぎないことに

気がつく、ということなのだ。

地球外の知的生命体を真剣に探索している科学者たちは、精巧ではあるが、実際には判読の難しいデジタル・メッセージを、星間レーダーで送信するためにつくり続けている。しかし、二進法言語が果たして普遍的であるかどうかは、いくつかの理由から疑わしい。

まず、我々人間は両側に対称的な生物であり、他にも対称的なものが存在する世界に住んでいる。我々は伝統的に二分法的な認識の仕方——たとえば、左右、正負、真偽、善悪など——にどっぷりと浸かっている。もし、我々が放射状に対称的であったならば、二進法以外の数式を〈普遍的〉だと考えただろう。

そしてゼロという概念は、この地球上では約千年前まで確立されていなかった。もっとも、パルテノンやローマの水道橋やエジプトのピラミッドを建設し、最初に星図を作成し、地球の円周を計算するだけの知性を備えた人々なら、ゼロの概念を用いていただろうが。

さらに、もうひとつの問題ある先入観としては、画素を水平方向に並べるにせよ、板にメッセージを刻むにせよ、科学者たちが視覚的情報に頼っていることが挙げられる。つまり、異星人の視覚器官がこれらのメッセージを見ることができると仮定しているわけだ。しかし現実には、この地球上でも、長年NASAの主任研究員として地球外の知的生命体を研究してきたケント・カラーズ⁸⁹は、視覚障がい者である。

6. ポエティカ・ヴァギナル

1986年、私は地球外知的生命体とコミュニケーションを取るために、膣の収縮運動を宇宙に送信するという、アートプロジェクトを立ち上げた。この《ポエティカ・ヴァギナル (Poetica Vaginal, 「膣の詩」を意味するラテン語)》というプロジェクトには、アーティスト、機械工学や電気工学のエンジニア、生物学者、天文学者、プロのダンサー、建築家、言語学者、哲学者が参加した。

機械工学の研究所で製作された〈膣の測定器〉は、水を満たしたポリアロマー遠心分離機チューブを、高感度の圧力変換器を内蔵した硬いナイロンの土台の上に設置したものだ。ダンサーその他の(自発的な)女性ボランティアたちは、膣の収縮(最も速いものは0.8ヘルツで計測さ

れた)の特徴を記録するために、測定器を衛生的に体内に収めた。埋め込み式の圧力変換器は、音声、心拍、呼吸、そして随意的・非随意的な膣の収縮を測定できるだけの感度を備えていた。

電子音楽用のソフトウェアを用いて、膣の収縮の周波数が英語の音声に特有の周波数に一致するように、膣の収縮のリアルタイムな高調波を作り出した。

言語学者に協力してもらって、英語の音声のビットマップ(これを〈音素〉という)を作成し、膣からの〈入力〉にリアルタイムに反応して音素を生成できるようにした。つまり、アナログな検出器の出力を、即時にデジタルマップ化するのである。以上の方法で、メッセージの3つの形式を作り出した。すなわち、⁽¹⁾膣の収縮によって直接生成されたアナログ信号、⁽²⁾収縮のデジタル地図、⁽³⁾音声(英語の音声地図)である。

電気工学のエンジニアの協力を得てゲート制御回路を作り、《ポエティカ・ヴァギナル》の信号をMITのヘイスタック天文台(マサチューセッツ州グロトン/ウェストフォード)の100万ワット級のミルストーン・レーダー送信機から発信できるようにした。

アーティスト、建築家、機械工学のエンジニアが協力して、電子機器を搭載してオペレーターが乗り込む〈膣の着陸船〉を通信中継局に作り上げた。スチール、ケーブル、木材、屋根ふき材料で作られた、折りたたみ構造の〈膣の着陸船〉は、火星着陸機にネイティブ・アメリカンのスウェット・ロッジ(儀式用の小屋)を乗せたような形をしていた。

天文学者と宇宙物理学者が、地球に近い太陽類似星を4つ——エリダヌス座イブシロン星、くじら座タウ星、無名だがRGO(王立グリニッジ天文台)のカタログでナンバリングされているGタイプの太陽類似星2つ——を選び出した。これらの星は、地球から10~40光年離れている。レーダー信号の狙いを定めるために、これらの星の位置(赤経と赤緯)を算出した。〈膣の着陸船〉はヘイスタックで組み立てられて、〈膣の信号〉を送信するための先行試験が、テープに録音されたサンプル信号を使って行われた。ところが、予定されていた生放送の直前に、ミルストーン・プロジェクト・グループのリーダーである米国空軍大佐がプロジェクトを中止させたのだ(米国空軍はMITと契約して、ミルストーン・レーダーを利用していた)。

7. 光速の遅さとその他の諸問題

宇宙船を拠点とする実験と同様、恒星間でコミュニケーションを取るためのレーダー送信実験にも克服すべき重要な問題点がある。宇宙には強力なレーダー送信機を設置できないので、送信は大気というかなり汚れた窓を通じて行わなければならない。これは事実上、送信できる周波数の範囲を狭めることになる。

送信手段としてのミルストーン・レーダーは、《ポエティカ・ヴァギナル》プロジェクトにとって都合の良い選択肢だった。なぜなら、協力者の多くが属しているMITの施設であるだけでなく、太陽類似星の周波数——それ自体はかなり弱い信号でしかない——で強力な信号を送ることのできる数少ないレーダー送信機のひとつだったからだ。100万ワット級レーダーの1~10ギガヘルツの信号は、太陽の光よりも十分に〈鮮明〉だ。すなわち、この特定の周波数でならば、1メガワットの信号でも、太陽を他のG型恒星よりも〈鮮明〉に見せるのに十分なのだ。

この作戦の問題点は、送信された無線通信の光子の束の真ん中(つまり、束ねられたレーダー信号の中央)に、受信側が位置しているという状況が起きなければ役に立たない、ということだ。なぜなら、レーダー波は光子であり、光子は「逆2乗則」に従って自動車のヘッドライトや携帯用フラッシュライトから放たれたように分岐するので、受信体に入射する信号は、光束の中心から遠く離れるほどに、急激に弱まる。したがって、遠く離れた恒星に対して極めて正確に狙いを定めなければならない。

我々が属する銀河系には2000億~4000億個の星が存在し、そのかなりの割合が(太陽に類似した)G型恒星である。技術的な限界があるため、レーダー送信は1度に1個の星に対してしか行えない。大局的に見て、天の川の星は海の魚よりも多いのだ。ある日、3分間だけ釣りに行ったとする。海にはたくさんの魚がいるというのに、我々の道具では特定の1匹の魚しか釣れない。成功の可能性はほんのわずかだ。

地球外知的生命体に高速でメッセージを送る際の最大の問題点は、宇宙の規模では、たとえ光速のメッセージでも〈手漕ぎボート〉並みに遅いということだ。銀河系の直径は、ほぼ10万光年である。銀河系の端から端まで行って帰ってくるのは、光速で20万年かかる周遊旅行なのだ。すべての人類の祖とされる「ミトコンド

リア・イブ」が誕生したのも約20万年前だ。

ミトコンドリア・イブがどうにかして、正しい周波数と十分な出力で信号を銀河系の向こう側まで送る能力を手に入れていたとしても、さらにはその信号を地球外生命体がちょうど10万年前に受け取って、直ちにこちら側に返事を送信してきたとしても、その返事は受け取られていなかったかもしれない。なぜなら、その間にミトコンドリア・イブは別の種に進化して、それは我々が知っているようなホモ・サピエンスではなかったかもしれないからだ。

アレシボのレーダーは死火山のクレーターの窪みに建設されているので、操作性はあまり高くない。いわば、狭い窓から信号の照準を定めることになる。セーガンとドレイクは恒星間メッセージを発信するときに、この窓から見える星の中から対象を選ぶしかなかった。結局、アレシボから発信された光速度のメッセージは、2万5000光年離れたヘラクレス座の星々に向けられた。そういうわけで、我々はチャペルで花束を抱えたまま、5万年の間、配偶者を待っているのだ。裸体はひたすら階段を下り続け、独身者はひたすら花嫁を裸にするのを待ち続けるのだ——何という悲劇だろう¹⁰。

メッセージの内容に関する問題は別として、恒星間のコミュニケーションを目指す実験プロジェクトでは、基本的で技術的な3つの問題が必ず浮上する。第1に、何億もの受信者にメッセージを送るとなれば、何億ものコピーが必要になる。第2に、メッセージを輸送する装置は、真空、放射線、極端な温度などの過酷な宇宙環境を乗り切れるだけの頑丈なものでなければならない。第3に、実際問題として、メッセージの輸送装置の健全性は無期限に(少なくとも「地質年代」に匹敵する期間は)完璧に保たなければならない。要するに、無限の大宇宙と極小の小宇宙を縫い合わせようとする問題なのだ。このことに着想を得て、私は分子生物学における最初のアートプロジェクトを立ち上げた。

つまりはこういうことだ——バクテリア(特に孢子形成細菌)は、これらの3つの問題に十分に対処することができる。バクテリアは宇宙環境を長期にわたって、ほぼ無期限に生き延びることができると想定される。1個のバクテリアから何億個もの正確なコピーを、簡便に安価に、一夜にして作ることもできる。

8. マイクロビーナス

1986年、『ポエティカ・ヴァギナル』プロジェクトで協力し合った2人——この私と、ハーバード大学の遺伝学と分子生物学の研究者であるダナ・ポイド——は、人間に関する知的情報を保有するバクテリアのモデルを作ることにした。この『マイクロビーナス』という作品は、分子生物学の遺伝子組み換えツールを用いて、DNAの形で作られた最初の芸術作品である (Davis 1996)。『マイクロビーナス』は、“Y”と“I”を重ね合わせたようなグラフィック・アイコンで構成されており、このアイコンはDNAヌクレオチドの配列に暗号化されていた。そしてこの配列は、ハーバード大学のマーティン・ポットフィールドによって合成された。出来上がった合成オリゴヌクレオチド¹¹は、ダナ・ポイドがいるカリフォルニア大学バークレー校で精製されて、その後、平滑末端ライゲーション¹²という手法を用いて2種類のプラスミド・ベクター¹³ (pUC19とpSK-M13+)と融合させた一本鎖DNAに由来する人口遺伝子断片を、ハーバード大学で大腸菌の実験株に導入した。

『マイクロビーナス』は、人間の知識を暗号化して人工的にDNAに仕込んだ——この方法はますます複雑化している——初期の芸術作品のひとつだ。一連の位相値にDNAの4つの塩基を割り当てて (C = x; T = xx; A = xxx; G = xxxx)、『マイクロビーナス』のアイコンを暗号化した。この方法に、ドレイクとセーガンがアレシボ・メッセージを作成するために使った、ツェルメロの定理を用いた水平走査線マッピングのテクニックと組み合わせた。『マイクロビーナス』を暗号化した35ビットのツェルメロ走査線 (7ビット×5ビット) には、以下のアイコンが含まれている。

10101
01110
00100
00100
00100
00100
00100

位相値にDNAの4種の塩基を割り当てることで、2進法の水平走査線を構成する数字は“CCCCCCAACGCGCGCT”と表現され

る。(最上列の) 左上にある最初の二進数は“C”として表現される。なぜなら、数字は単一の位相を有する、つまり、直近では繰り返されないからである。この数字は一度だけ同じ状態 (1) であったのちに、次の二進数に切り替わる。第2行における、第2、第3、第4の数字は、単一の〈A〉として表現できる。なぜなら、その数 (1) が3回繰り返されてから、別の二進数に切り替わるからである。次の4個の二進数は、〈G〉と表現できる。このようにして、35ビットの『マイクロビーナス』の走査線は、18個のDNA塩基に暗号化される。さらに、“CTTAAAGGGG”という短い配列が、DNA塩基と位相値の組み合わせを解読するための手掛かりとして加えられた。結合された28塩基長の『マイクロビーナス』のDNAは“CTTAAAGGGGCCCCCAACGCGCGCT”となる。

『マイクロビーナス』のアイコンは、地母神を表す古代ゲルマン語のルーン文字であり、これまでの地球外知的生命体に宛てたメッセージから検閲で排除されてきた、女性器でもある。『マイクロビーナス』のバクテリアを宇宙に広めて、地球外の環境を地球のバクテリアで汚染するリスクを冒すような計画は一度も準備されていない。だが、細菌の孢子である『マイクロビーナス』のバクテリアには、地球外知的生命体に宛てたメッセージの搬送装置としては、レーダーや宇宙船に勝る利点がある。

9. 生命の謎

実は、『マイクロビーナス』という生命体で作られる30年以上前に、DNAにメッセージを書き込むことを考えた科学者たちがいたのである。科学史上、ほとんど知られていないこのエピソードについて短く言及している書籍2冊を私が見つけたのは1990年代初めだった (Fischer and Lipson 1988; Beadle and Beadle 1966)。エピソードの出来事が起きたのは1958年のことだ。

すでに1953年に、ワトソンとクリックが (ロザリンド・フランクリンの助けを借りて) DNAの構造を解明していたが、それから10年近くが経過してからようやく、科学者たちは遺伝暗号の働きの詳細を明らかにできた。コドン (連続する塩基3個が1組、つまりトリプレット) になっている遺

DELBRÜCK RIDDLE OF LIFE RNA CODE (ABCD=UCAG)

FIRST PLACE	URACIL	CYTOSINE	ADENINE	GUANINE	THIRD PLACE
URACIL	UUU-RHF UUC-PHF UUG-LEU UUG-LEU	UCU-SEK UCA-SER UCG-SER UCG-SER	UAU-TVB-3 UAC-TVB-1 UAA-STP UAG-STP	UGU-CYS-0 UGC-LYS-0 UGA-STP-E UGG-TRP	URACIL CYTOSINE ADENINE GUANINE
CYTOSINE	CUU-LEU CUC-LEU CUA-LEU CCG-PRO	CCU-PRO-4 CCU-PRO-4 CCA-PRO CCG-PRO	CAU-HIS-1 CAC-HIS-2 CAA-GLN CAG-GLN	CGU-ARG-1 CGC-ARG-1 CGA-ARG-1 CGG-ARG-1	URACIL CYTOSINE ADENINE GUANINE
ADENINE	AUU-LEU AUC-LEU AUA-LEU AUG-LEU	ACU-THR ACU-THR ACA-THR ACG-THR	AUU-ASN-1 AUA-ASN-2 AAG-LYS AAG-LYS	AUU-SER-1 AUC-SER-1 AUA-SER-1 AUG-ARG-1	URACIL CYTOSINE ADENINE GUANINE
GUANINE	GUU-YAL GUC-YAL GUA-YAL GUG-YAL	GCU-ALA GCC-ALA GCA-ALA GCG-ALA	GAU-ASP GAC-ASP GAA-ASP GAG-GLU	GGU-GLY-1 GGC-GLY-1 GGA-GLY-1 GGG-GLY-1	URACIL CYTOSINE ADENINE GUANINE

1 デルブリュック 〈生命の謎〉 RNAコード
DELBRÜCK RIDDLE OF LIFE RNA CODE
(ABCD=UCAG)

伝暗号) が、DNAでどのような働きをしているかはわかっていたが、64通りのトリプレットによって現わされる20種類のアミノ酸の配列が明らかになったのは、1967年のことだ。その間に生物学者は、遺伝暗号の働きがさまざまな点で、自然言語の働きに似ていることに気づいた。「赤」という言葉は、赤い色を示す概念や現象とも関係があるのと同様に、コドンを実すアミノ酸は、コドンそのものと大いに関係があるのだという。このように遺伝暗号は、形式的で言語学的な意味で言葉のように作用する。このことを発見した科学者たちは、少しばかり詩的な感慨を抱いたようだ。しばらくの間、生物学界では、それらの〈言葉〉の間に区切りの「空白^{スペース}」があるかどうかが議論されたという。生物学者たちは、これらの対立する見解を、「コンマあり」の暗号と「コンマなし」の暗号という言い方で表現した。またもや、科学は理解の限界にぶつかり、その限界に科学自体の言葉が反映されていることが認識されたのである。

1958年にストックホルムでのノーベル賞授賞式で、2人の科学者が遺伝暗号の言語学的な働きに基づいて、暗号化されたメッセージを交換した。マックス・デルブリュックとジョージ・ビードルが互いに送り合ったメッセージは、英語のアルファベットの文字をアミノ酸の64種の位置コードに置換したものだ (Fischer and Lipson 1988)¹⁴。デルブリュックのメッセージには「コンマ」もしくは「スペース」に相当するコドンが含まれていた。一方、ビードルのメッセージには「コンマ」はなかった。

このとき最後に交換されたメッセージは、異なる4色の爪楊枝174本で作られたDNAモデルだった。デルブリュックがこのDNAモデルをストックホルムに発送して、ビードルが授賞式後の公式講演で解読した。DNAモデルに含ま

れていたメッセージは「私は生命の謎だ／私のことがわかればあなた自身のこともわかるだろう (I am the riddle of life know me and you will know yourself)」だった。

デルブリュックが問いかけた謎は「スフィンクスの謎」だった。「汝自身を知れ (Know Thyself (=yourself))」は、デルポイのアポロン神殿で下された有名な神託だ。それこそが、ソクラテスがアテネを走り回って「自分は何も知らない」ことを証明しようとした理由だった(そのことがソクラテスの死を招いたことは明らかだが)。

私は以上の出来事に触発されて、1995年にハーバード大学のボイルストン・ホールとハーバード・ヤードで「生命の謎」と題した展示会を行った。その特徴は、アーティストと科学者がともに参加したことだ(Nadis 1995)。

当時ロードアイランド・スクール・オブ・デザイン(RISD)の絵画部門の長だったアル・ワンダーリッチ教授の助力を得て、4種類の蛍光物質を入れた174本の試験管を並べた棚を用意した。ハーバード・ヤードに設置したフェンスの174本の杭には、RISDの学生たちが4匹の異なる動物の絵をステンシルで描いてくれた。MITで建築を専攻している大学院生のロブ・スタベイは、マサチューセッツのサマヴィル通りに建つ174軒の1階建て、2階建て、3階建て、4階建ての家々をコンピュータグラフィックスで描いてくれた。また、それぞれ174本の爪楊枝、174本のほうきの柄、174段のはしご、174個の結び目のある4本の綱を使って、モデルを作成した。これらすべての芸術作品には「私は生命の謎だ／私のことがわかればあなた自身のこともわかるだろう」というメッセージが込められていた。私自身が最も力を入れたのは、《174個の塩基が投げかける生命の謎としてのDNA (the 174-mer Riddle of Life DNA)》という作品だった。

実は1980年代中頃までは、DNAの合成は簡単なことではなく、《174個の塩基が投げかける生命の謎としてのDNA》と同じくらいの大サイズの分子の合成も、PCR(ポリメラーゼ連鎖反応)¹⁴が出現するまでは難しかった。このPCR法による合成にしても、1990年代初めまでは、生物学者にとっても簡単に使える方法ではなかった。

1993～1994年の冬、ベルリン自由大学のブルクハルト・ウィッティヒの実験室で、私は「生命の謎」のためのDNAの合成・精製する準備に取りかかった。その後1994年に、MITのアレキサ

ンダー・リッチの実験室でステファン・ヴェルフルとともに「生命の謎」のためのオリゴヌクレオチドを大腸菌内で組み立てクローニングを行った。

ハーバード大学とケンブリッジ市(マサチューセッツ州)のバイオセーフティ委員会から、この「生命の謎」のための大腸菌を、ハーバード大学ボイルストン・ホール内の鍵のかかる二重ガラスの扉付きの専用の冷蔵庫内に置くことが許可された。

『ネイチャー』は丸々1ページを割いて、ハーバード大学で開催された「生命の謎」展に関する記事を掲載し、私たちが科学と芸術という「2つの文化の懸け橋」となったことを伝えた。しかし残念ながら、私たちがその橋を渡ることは全くなかったのだ。

10. 規制に関する問題： 遺伝子アートの制作、展示、公開

ギリギリ最後になってから、ハーバード大学のバイオセーフティ委員会は「説明」を行って当初の許可を撤回し、「生命の謎」のための大腸菌をボイルストン・ホール内の冷蔵庫に置くことを拒否した。こんな結論が出されたものの、現実にも目を向ければ、『サイエンティフィック・アメリカン』誌などは近年、DIY的な(アマチュア科学者)向けコラムで大々的に、インキュベータ用電球付きの水槽でオリジナルの遺伝子組み換え大腸菌を作る方法を伝授しているのだ。

この5年後、「生命の謎」のための大腸菌は、アルス・エレクトロニカ2000(オーストリアのリンツで開催)において、特別に用意された閉鎖空間内でついに公開された(Nadis 2000)。大腸菌を物理的・生物学的に封じ込める作業は、オーストリア当局のバイオセーフティ担当者の全権的な承認と監視のもとで行われた。

遺伝子を扱うアーティストは、生命体のDNAを操作することを選択した以上、遺伝子組み換え生命体を展示するにあたって、技術と建築構造と環境コントロールとバイオセーフティに関する重大な問題に直面しなければならない。広く一般の人々が訪れる展示会を開催するつもりでキュレーターにとっても、同じことが言える。ギャラリーや博物館の運営者は、多くの場合、(組み換えられた)遺伝子芸術を取り扱って展示することは、自分たちには無理であり、そん

な意思もないことを悟るものだ。気が滅入るようなセキュリティと責任に関する問題に対処しなければならないからだ。大衆が遺伝子操作一般に対して、根拠のあるなしにかかわらず発症するヒステリーや、報道機関の反応にも、キュレーターは気を揉むことになる。

実験室における生命体は、人間を含めた他の生命体に対する危険度に応じて、封じ込めのレベルが上がっていく。人間の腸にいるバクテリアである大腸菌は、生物学では便利な道具として使われている。なぜなら、大腸菌は通常、病気を発症させることなく人間と共存しているからだ。もともと、人間とは共存できても、大腸菌は他のバクテリアにとっては有害なバクテリア毒素を作り出す。人間の腸管に生息するバクテリア集団の中で、大腸菌が圧倒的多数を占めているのは、そのためである。実際、大腸菌は我々の周囲の至る所で、常にうごめいている。人間がいる場所なら、人間の体内、体外を問わず、大腸菌は存在している。

基本的に、実験室で大腸菌を扱う際は、常識的に衛生面に配慮すればよい。遺伝子工学によって操作された大腸菌は、密閉容器に保存される。汚染された廃棄物と使用済みの容器は、廃棄される前に必ず加圧滅菌器で処理されることになっている。

特に危険な生物は、衛生面でより厳密に取り扱われて、細心の注意をもって隔離・密封される。発疹チフス、HIV、炭疽菌のような病原体は、外気と遮断されたグローブ・ボックス¹⁵で処理される。この種の生物と接触した空気を含む気体は、建物の外に排出される際には熱処理されるので、空中の病原性分子は焼却される。

しかし、最も危険な生物は、別の方法で対処されている。毎日(あるいは毎分)いずれかの生物の種を絶滅の危機にさらしている生物は、いうまでもなくホモ・サピエンスである。つまり、生物学者たち自身を封じ込める方法はないのだ。

ときとして、科学者たちは軽微なルールを破ることがある。たとえば、大腸菌を培養したシャーレ1枚を、ハーバード大学とMITの間の1マイルの距離を移動させるためには、3つの異なるバイオセーフティ許認可機関で煩雑な手続きを取らなければならない。このような規則は面倒くさいと思いき、法的な管理に必要な事務処理や面談を省いて、培養したものをやり取りする科学者もいる。

科学者たちがこれらの原則をきちんと守るか

どうかはさておき、遺伝子芸術の作品を制作するアーティストは、科学的に懸念すべき事態に遭遇する可能性を想定して、科学者たちの行動を注視しなければならない。実際、芸術作品の制作に使われている遺伝子工学で生成された生物の譲渡に関しては、はっきりと決まった手続きは存在しない。その結果、科学的な作業に従事する人々の中には、他の人が遺伝子組み換えの産物を安全に扱っているのだから自分も大丈夫、と考える人がいる。しかし科学の世界には、結果責任を負う組織など存在しない。科学的にずさんな管理が人類と環境に恐ろしい結果をもたらして、しかも科学が主な言い訳に使われてきたという歴史は、今や明らかである。これまでアーティストたちは、遺伝子芸術を制作する際に、科学的実験を行う研究室等に協力してもらってきた。しかしアーティストたちは今、芸術的な目的のために遺伝子工学を実行する場としてのスタジオを構想し始めている。実験室で芸術的な共同制作を行うための重要な条件は、アーティストたちは科学的手続きを順守しなければならないということ、それができなければ直ちに実験室を使うことはできなくなる、ということだ。実験室と特別な管理体制を必要とし、しかも倫理に関わる行動——たとえば、実験室の外に生物を持ち出すといった行為——の責任が問われる場合、その生物を生み出した実験室も罪に問われるのは当然のことだ。

11. ゲノム芸術

アーティストたちは比較的短期間で、模倣表現としての自然主義的伝統を脱却して、生命そのものを直接操作するようになった。現在のところ、アーティストたちが操作できる範囲は、単一の遺伝子(または遺伝子群)を、宿主となる生物の細胞内で発現させたり破壊したりすることにとどまっている。

しかしやがては、アーティストたちはもっと野心的なプロジェクトに携わるようになるだろう。分子遺伝学と分子生物学の技術に関与することで、テクノロジーとしての遺伝学に対するアーティストたちの理解は深まるだろう。そして今、人間のゲノムに関する研究も進んでいる。近い将来、多くの遺伝子もしくは全ゲノムを用いる規模の芸術作品が制作されるだろう。

ゲノムとは、莫大な情報が高度に体系化されて蓄積されたものであり、データを分析・解釈するための綿密なシステム——内蔵されていたか、あるいは自然発生したシステム——を備えている。これらのシステムは核酸とタンパク質でできていて、その動作は極めて洗練されており、従来のデータベースを操作する直截な数学演算では見られなかったものである。

生物学的意味で、ランダムに編集された大きなDNA配列からなる芸術は、生体内で自動的に複製されることはない。単一または少数のDNA塩基対を単純に繰り返した場合、その大多数は生物学的に不安定である。いくつかの配列には不安定性をもたらす特徴があり、宿主細胞にとって有毒なこともある。

ゲノム芸術は、たとえ大規模なものでも、大量の任意の情報を〈生物学的に扱いやすい〉DNA分子に暗号化できなければならない。「DNAスーパーコード」は、この目的のために設計されたものだ。

12. スーパーコードと天の川DNA

1995年、私は最初の「DNAスーパーコード」¹⁶を作成した。その目的は、天の川銀河の地図をDNAの分子内に暗号化することだった(Davis 2000)。

この天の川銀河の地図は、NASAの宇宙背景放射探査機(Cosmic Background Explorer、略称COBE)が作成した天の川の地図を含む、1.1キロバイトのデジタル画像ファイルである。この画像ファイルは、二進数の文字列として表示される。

「DNAスーパーコード」では、入力情報(この場合は、COBEが作成した天の川の地図)を暗号化するための基礎となる20種類のアミノ酸を、64種類のヌクレオチド・トリプレットの大半を用いて表している。なお、任意のデータを暗号化してDNAに直接的に組み込むことに伴う、生物学的問題を解決するためには、第2水準の暗号化を用いている。終了または〈ストップ〉を意味する3つのコドン(TAA、TGAとTAG)は、異なる暗号化の方式間の「スイッチ」として機能し、モノヌクレオチド¹⁶の単純な繰り返しが入力データに現われることを示している。4種類のモノヌクレオチド・トリプレット(CCC、TTT、AAA、GGG)は、対応するDNA塩基(C、T、A、G)を指定する

FIRST PLACE	URACIL	CYTOSINE	ADENINE	GUANINE	THIRD PLACE
URACIL	UUU-PHE-7 UUC-PHE-7 UGA-LEU-8 UGU-LEU-8	UCU-SER-2 UCC-SER-2 UCA-SER-2 UCG-SER-2	UAU-TYR-F UAC-TYR-F UAA-STP-*	UGU-CYS-G UGC-CYS-G UGA-STP-** UGG-TRP-J	URACIL CYTOSINE ADENINE GUANINE
CYTOSINE	CUU-LEU-8 CUC-LEU-8 CUA-LEU-8 CUG-LEU-9	CCU-PRO-8 CCC-PRO-8 CCA-PRO-8 CCG-PRO-8	CAU-HIS-H CAC-HIS-H CAA-GLN-B CAG-GLN-B	CGU-ARG-9 CGC-ARG-9 CGA-ARG-9 CGG-ARG-9	URACIL CYTOSINE ADENINE GUANINE
ADENINE	AUU-ILEU-C AUA-ILEU-C AUG-ILEU-C AUG-MET-1	ACU-THR-7 ACC-THR-7 ACA-THR-7 ACG-THR-7	AUU-ASN-D AAC-ASN-D AAA-LYS-8 AAG-LYS-8	AGU-SER-2 AGC-SER-2 AGA-ARG-9 AGG-ARG-9	URACIL CYTOSINE ADENINE GUANINE
GUANINE	GUU-VAL-6 GUC-VAL-6 GUA-VAL-6 GUG-VAL-6	GCU-ALA-3 GCC-ALA-3 GCA-ALA-3 GCG-ALA-3	GAU-ASP-A GAC-ASP-A GAA-GLU-4 GAG-GLU-4	GGU-GLY-1 GGC-GLY-1 GGA-GLY-1 GGG-GLY-8	URACIL CYTOSINE ADENINE GUANINE

SILENT CODE amino acid [codon = silent code value]

- 1) PHE = [UUU = 0, UUC = 1]
- 2) LEU = [UUA = 0, UUG = 1; CUU = 10; CUC = 11; CUA = 00; CUG = 01]
- 3) ILEU = [AUU = 0; AUC = 1; AUA = 00]
 -) MET = [AUG = X]
- 4) VAL = [GUU = 0; GUC = 1; GUA = 10; GUG = 11]
- 5) SER = [AGU = 0; AGC = 1; UCU = 10; UCC = 11; UCA = 00; UCG = 01]
- 6) PRO = [CCU = 0; CCC = 1; CCA = 10; CCG = 11]
- 7) THR = [ACU = 0; ACC = 1; ACA = 10; ACG = 11]
- 8) ALA = [GCU = 0; GCC = 1; GCA = 10; GCG = 11]
- 9) TYR = [UAU = 0; UAC = 1]
- 10) STOP = [UAA = X, UAG = X; UGA = X]
- 10) HIS = [CAU = 0; CAC = 1]
- 11) GLN = [CAA = 0; CAG = 1]
- 12) ASN = [AAU = 0; AAC = 1]
- 13) LYS = [AAA = 0; AAG = 1]
- 14) ASP = [GAU = 0; GAC = 1]
- 15) GLU = [GAA = 0; GAG = 1]
- 16) CYS = [UGU = 0; UGC = 1]
-) TRP = [UGG = X]
- 17) ARG = [AGA = 0; AGG = 1; CGU = 10; CGC = 11; CGA = 00; CGG = 01]
- 18) GLY = [GGU = 0; GGC = 1; GGA = 10; GGG = 11]

2 基本となる20種の縮重DNA暗号の鍵
Key for a base-20 degenerate DNA code.

3 「サイレント・コード」
SILENT CODE

ために用いられる。

「DNAスーパーコード」には、3つの暗号化の方式がある。(1)〈TGA〉は、DNAに直接暗号化される入力データの、生物学的に互換性を持つ箇所を示す。(2)〈TAA〉は、特定のDNA塩基を示すトリプレットのひとつに先立つ、ベースとなる20種のDNA暗号のひとつをトリプレットが引き起こす場所で、モノヌクレオチドの繰り返しを示すために用いられる。(3)〈TAG〉はノンコード、つまり〈削除〉するモードであり、配列が入力データを含まないことを示している。TAGと指定された配列は酵素を認識する部位を含み、この酵素は①完全な配列を組み立てて操作するために必要となり、②さらには生体内で完全に組み立てられた配列の安定性促進という重要な機能を持つ遺伝子の挿入にも必要である。

特定のデータベースを「スーパーコード」化するための最初のステップは、DNA内に直接

暗号化されて入力されたデータに現われる、すべての終了コドン、TAAモードを用いて暗号化することだ。「スーパーコード」のモードを切り替えるための部品として挿入された終了コドンはすべて、解読過程で削除される。宿主細胞の生物学的機械による入力データの変換を始めるコドン(ATC、GTG、TTG、CTGなど)は、生体内に発現しないように暗号化されることがある。

「スーパーコード」は遺伝暗号そのものと同様に、高度に縮重されているので、大多数のDNA配列は、それぞれが正確に同じ入力データに解読されるように作られている。たとえば《天の川DNA》の場合、実際に天の川に含まれている星の数よりも多くの配列が作られて、銀河の地図に入れられている。

私が《天の川DNA》を創作するきっかけとなったのは、ある童話だった。その主人公は傲慢な少女で、1匹のネズミに出会って、ようやく幸せというもの理解できるようになったという。実はそのネズミ、耳に宇宙の地図を宿していたのだ。

最初の《天の川DNA》は2002年に制作して、同年にポルトガルのバルカレナで開催されたピオロジア・コモ・アルテ(芸術としての生物学/Biologia Como Arte)で発表した(Queiroz 2002)。《天の川DNA》の配列全体は、3867個の塩基対から成るDNA分子——多くのプラスミドより大きくて、多くのウイルスの完全ゲノムとほぼ同じ大きさである——で構成されている。

13. サイレント・コード

巨大なデータベースを暗号化してDNAに組み込む際に発生する多くの諸問題を、「DNAスーパーコード」は解決した。しかし、重要な問題がひとつだけ残った。それは、生体の重要な機能に貢献しないDNA配列を、生物は削除する傾向がある、という問題だ。

ダナ・ポイドと私は最近、「サイレント・コード」という次世代の暗号を開発した。この「サイレント・コード」は、遺伝暗号の縮重を利用して、遺伝子の転写産物¹⁷を変更することなく、任意の情報を遺伝子の塩基配列に挿入することができる。暗号化された任意の情報は、重要な遺伝子の暗号配列内に存在する限り、宿主生物によって再配置されることも削除されることもない。

「サイレント・コード」では、遺伝暗号の20種類のアミノ酸のうちの18種類を示すコドン(つまり64種類のコドンのうちの44種類)が用いられている。これら18種類のアミノ酸のそれぞれは、2~6種類のトリプレット・コドンによって表される(18種類のコドンは18~20種類のアミノ酸に相当する。)¹⁸「サイレント・コード」では、これらのコドンのそれぞれに二進数を割り当てている。2種類のトリプレットから成るコドンの組には、〈0〉と〈1〉が割り当てられる。3種類のトリプレットを含むコドンの組には、〈0〉、〈1〉、〈00〉が割り当てられる。4種類のトリプレットを含むコドンの組には、〈0〉、〈1〉、〈10〉、〈11〉が割り当てられる。6種類のコドンから成る組には、〈0〉、〈1〉、〈10〉、〈11〉、〈00〉、〈01〉が割り当てられる。

終止コドン(TAA、TGA、TAG)と、単一のコドンで構成されてメチオニンとトリプトファンを表す組(ATGとTGG)は、「サイレント・コード」では使用しない¹⁹。

「サイレント・コード」に含まれる、DNA塩基対に対応する任意に暗号化された情報は、「DNAスーパーコード」に含まれるものよりも少ない。しかし、生物学的に言って「サイレント・コード」は極めて〈静か〉である。タンパク質の構造と相互作用、塩基対の総数、宿主細胞¹⁸のエネルギー必要量は、「サイレント・コード」の情報のあるなしにかかわらず、基本的に同じである。

明確に異なる、多重化された(生物学以外の)データベースを同時に暗号化することは、自然に発生する遺伝子の個々のDNA配列の範囲内でも可能である。これが〈静か〉ということである。なぜなら、暗号化されていない本来のDNA配列の翻訳産物(たとえば、自然に発生するアミノ酸、ペプチド、タンパク質)を変化させることも、個々のヌクレオチド——ヌクレオチドは通常、変更されていない自然な遺伝子から成っている——の数を変えることもないからである(この「サイレント・コード」の形式については、稿を改めて説明したい)。「DNAスーパーコード」と「サイレント・コード」が構成している遺伝子操作の形式は、これまでの遺伝子組み換えに比べると、宿主生物に〈干渉〉する可能性が低く、環境にも優しい。これらの暗号を行使しても、生態環境に対して——つまり、宿主生物が他の生物や環境全般と相互に作用する際の生態環境に対して——ごくわずかな影響しか与えないだろう。

14. 結論

芸術における自然主義に対する歴史的な概念を越えて、アーティストは今や、文字通り自然と一致する芸術と対峙している。単に生物学的相互作用を起こすための遺伝子の命令以上のもの内包する、新たなゲノムを創造する機会も出てきた。アーティストは、人間の精神と想像力を永続させられるようなゲノムを創造するだろう。科学界の懐疑心や無関心が、この流れを押し止めることはできないだろう。逆に、科学に固執する偏狭な態度は、アーティストにインスピレーションの重要な源泉を提供し続けるだろう。結局のところ、皮肉な話だが、遺伝子を媒体に用いるアーティストたちは現在の科学界よりも、もっと繊細な感性を環境に対して示すのではないだろうか。

現在、「DNAサイレント・コード」に関わる2つのプロジェクトが進行中である。

(訳:村上 彩)

Eduardo Kac, ed., *Signs of Life: Bio Art and Beyond*, pp.249-266, Joe Davis, "Cases of Genetic Art," © 2007 Massachusetts Institute of Technology, by permission of The MIT Press.

謝辞

《天の川DNA》の合成と組み立てを手助けしてくれたピーター・サイドラーに、心からの謝辞を捧げたい。

出典および参考文献

- Beadle, George Wells, and Beadle, Mudel. 1966. *The Language of Life: An Introduction to Science of Genetics*. Garden City, NY: Doubleday.
- Couzini, Jennifer. 2002. "Active polio Virus Baked From Scratch." *Science* 297 (July 12).
- Davis, Joe. 1966. "Microvenus." *Art Journal* 55, no.1: 70–74.
- Davis, Joe. 2000. "Romance, Supercodes and the Milky way DNA," In *Ars Electronica 2000: Next Sex*, edited by Gerfried Stocker and Christine Schopf, 217–235. Vienna: Springer Verlag.
- Fischer, Ernst Peter, and Carol Lipson. 1988. *Thinking About Science: Max Delbrück and the Origins of Molecular Biology*. New York: Norton. (『分子生物学の誕生: マックス・デルブリュックの生涯』エルンスト・ペーター・フィッシャー、キャロル・リップソン著、石館三枝子・石館康平訳、朝日新聞社、1993年12月。)
- Nadis, Steve. 1995. "Genetic Art Builds Cryptic Bridge Between Two Cultures." *Nature* 378 (November 16): 229.
- Nadis, Steve. 2000. "Science for Arts Sake," *Nature* 407 (October 12): 668–670.
- Queiroz, I. P. 2002. "A Biologia Ao Serviço Da Arte," *A Capital* (May 19).

訳註+編集註

- 1 現代的な意味でのキメラとは、生物学において異なった遺伝情報を持つ細胞が同一体内に存在する状態のこと。
- 2 哲学者ジョルジュ・バタイユは岡本太郎やアンドレ・マンソンらと神不在の宗教結社「無頭人」を設立したが、無頭人は神の断首のシンボルだった。デイヴィスは、科学が寓話的な怪物にとって代わったことを無頭人という語で表現している。
- 3 遺伝に関わるタンパク質。生体が病原体を排除する際に抗体を補助する免疫システムを構成する。
- 4 細菌に感染して菌体を溶かして増殖するウイルスの総称。餌となる細菌を食べ尽くすかのように死滅させる様を人間に重ねている。
- 5 ある生物のもつ遺伝子の構成が形態、構造、行動、生理的性質などを含む形質として発言したもののこと。
- 6 白色人種と同義。
- 7 この場合のツェルメロ数とは、半素数を意味すると思われる。
- 8 ヴェルナー・ヘルツォーク監督による西ドイツで1982年に公開された超現実主義的な冒険活劇映画。
- 9 現在は、地球外知的生命体探査研究所 (SETI) 勤務。
- 10 デュシャンの《彼女の独身者たちによって裸にされた花嫁、さえも》にかけた表現で「永遠に未完のまま放棄される他ない」という意味。
- 11 約20塩基対程度の短いヌクレオチドの配列。自動合成装置によって160から200塩基対程度のオリゴヌクレオチドは自動的に合成できる。
- 12 突出している末端を持たない二重鎖DNAの末端同士を酵素を用いて連結すること。
- 13 遺伝子を組み換える際に利用する環状のDNAのこと。
- 14 DNAポリメラーゼと呼ばれる酵素を用いてDNAの必要な部分だけを増幅するための原理または手法。
- 15 外気を遮断した作業ができるように、内部にゴム手袋などで手だけが入られるよう設計された密閉容器。
- 16 リン酸、塩基、糖の一分子の結合から生じるヌクレオチド。
- 17 酵素によりゲノムを鋳型として合成されたメッセンジャーRNA (タンパク質を合成する遺伝情報を写しとる一本鎖のヌクレオチド)。
- 18 ウイルスなどの微生物によって感染を受けた細胞のこと。

(訳註:村上 彩 編集註:高橋洋介)

謝辞

本論文訳出にあたり、ご指導賜りました早稲田大学教授岩崎秀雄先生に感謝の意を表する。

ジョー・デイヴィス

1951年アメリカ合衆国生まれ。芸術家、マサチューセッツ工科大学生物学科およびハーバード大学ジョージ・チャーチ研究室研究員。彼の作品と研究は、分子生物学、生物情報工学、宇宙芸術、彫刻など多岐の分野にわたり、DIYバイオの先駆者として知られる。2001年に、ワシントンポストに「バイオアートのゴッドファーザー」と言わしめた。主な受賞にアルスエレクトロニカ・グランプリ (ゴールドニカ賞、2012) など。

Cases for Genetic Art

Joe DAVIS

1. Recent History

Treatments of various topics of naturalism in the history of art and the coincidental rise of agriculture and genetic manipulation are undertaken elsewhere in this book. Instead, I will concentrate on the current philosophical and technological bases and motivations which have played a greater role in my own involvement in art and genetics.

In 1970, Morton Mandel and Akiko Higa (at the University of Hawaii School of Medicine) discovered that by treating cells with calcium salts, the cells could be encouraged to take up viral DNA. The first recombinant phage DNA was created by Paul Berg in 1971. The first successful recombinant bacteria were created by Herbert Boyer, Stanley Cohen, and Annie Chang in 1974. Technology for convenient synthesis and assembly of DNA molecules became widely available in the early 1980s. The first work of art made with synthetic DNA and genetically modified bacteria was created in 1986. The first completely functional synthetic genome (a synthetic polio virus) was created in 2002 (Couzin 2002).

In the short space of these three decades, human beings have learned how to animate heretofore inanimate materials. It is by no means an oversimplification to say that we have, in at least in a few first, cautious steps, learned how to bring ideas to life.

2. Aliens

Perhaps the most profound example of this “transanimation” is the serious scientific search for extraterrestrial intelligence, because we hope that by merely asking a question, we can bring the whole universe to life. Here human imagination has been moved to repeat earlier themes. Popular hysteria

about alien abductions are replete with sexual complications. There is both fear and anticipation.

While attitudes about alien-initiated sexual encounters are decidedly phobic, attitudes about human-initiated encounters have been quite the contrary. Consider the 1960s *Star Trek* episodes where starship captain James Kirk had romantic encounters with members of other species (extraterrestrials). Perhaps that is less frightening than recently published statistics suggesting that at least one out of eight Americans has had sex with (terrestrial) animals. It should be pointed out that William Shattner, who portrays James Kirk, is actually Canadian.

3. Monstrosities

An intriguing aspect of the transanimation stories is that they are almost always about horrible monsters that have romantic or sexual interactions with human beings. Yet, just as classical monstrosities all correspond to what we now understand to be examples of clinical pathology, it turns out that in one way or another, all of our monsters are versions of ourselves.

Artists invented chimeras at least in the classical, if not the modern, scientific sense. Composite, part human/part animal figures of the ancient pantheons all seem to have anticipated the spectre of interspecies monstrosity that haunts the antigenetics lobby and activists concerned with genetically modified food. Yet these chimeric “monsters” already exist in many, perhaps unsuspecting, forms.

Homo sapiens share many essential genes with the rest of terrestrial biology. We human beings, no matter how unique and gifted we imagine ourselves to be, have an approximate 70 percent genetic homology

with tomatoes. Homo sapiens’ genetic homology with chimpanzees and the great apes is closer to 99 percent.

Imaginary or not, monsters have undergone their own special form of evolution. They seem to have improved over time. These days, they are up-to-date creatures with access to the latest scientific and technical advancements. The business of transanimation by divine intervention has been switched to the more contemporary agencies of nuclear radiation and biotechnology. Dragons have given way to the more paleontologically correct dinosaurs while Washington Irving’s “headless horseman” has become the new “acephalus,” a (so far) mythical headless human clone created explicitly for organ harvest.

Over the last hundred years or so, genetically adjusted “monsters” have completely overrun the planet and currently occupy more territory than human beings themselves do. Like aliens in *Men in Black*, our monsters are numerous, ubiquitous, and incognito, and most of them have something to do with food.

Let’s again take the tomato as an example, one that has been obtained say, at an “organic,” “natural foods” grocery store. It has never been directly treated with chemical pesticides or fertilizers. Yet even this purest of tomatoes is a monster by dictionary definition. Tomatoes are fat and luscious because they have many more copies of their chromosomes than their raisin-sized ancestor’s normal complement.

The extra DNA in today’s tomatoes means that many genes are translated over and over again, which has had the effect of giantizing the original fruit. Once upon a time we made giant tomatoes. It makes little difference whether or not this modification of tomatoes was carried out with conventional horticultural techniques, use of mutagenic agents, or the recombinant techniques of

molecular biology. The result is the same. Tomatoes are monsters. Most people just don't know.

An early icon of the movement against genetically modified food was the “Flavr Savr” tomato, a genetically modified variety that stays fresher longer on grocery store shelves than “ordinary” tomatoes do. In this case, no extra chromosomes were created. No extra gene was added to the tomato genome. In fact, Flavr Savrs have a little less DNA than other tomatoes. In Flavr Savrs, one of the genes that cause tomatoes to “rot” (coding for an enzyme that digests tomatoes from the inside) has been removed. Otherwise, Flavr Savrs are identical to other tomatoes.

A rose is a Frankenstein too, of course, because it is comprised of pieces and parts of the genomic makeup of many other subspecies of roses.

Over time, human beings have not only been the creators of monstrosity, they have become the phages and/or consumers of the monstrosities they have created. In so doing, they have indirectly modified themselves. If modern Homo sapiens had to survive on the ancestors of species that make up its current food supply, genetic “retrofits” would be called for. We would have to resupply ourselves with the phenotypes of earlier hominids simply to manage the collection and digestion of those materials.

Not only have we been historically confused about who the monsters are, we expect everybody else (aliens) to be just as confused as we are.

4. The Search

Whether or not it was our original intention, we have sent strangely incorrect pictures off into the cosmos explicitly to impersonate our species. These were rocketed out of the solar system on gold-plated message plaques with NASA Pioneer and Voyager interplanetary probes. They are reputed to be the first

serious scientific attempts to communicate with alien species.

Launched in the early and mid-1970s, NASA's Pioneer and Voyager spacecraft achieved enough velocity to escape the solar system with the assistance of the Jovian gravitational field. They are the fastest ballistic objects ever created by human beings and are now traveling at about 1/20,000th light speed—many, many times faster than a speeding bullet.

Pioneer message plaques contain a collage of visual information including a rudimentary map of the solar system and the spacecraft's trajectory, a chart of quasi-stellar objects called “pulsars” (which was intended to guide curious extraterrestrials back to the vicinity of our solar system), an image of the Pioneer probe itself, and two line drawings intended to represent average male and female Homo sapiens. The figures are of well-groomed Caucasians without facial or body hair. The male figure has a mysterious raised arm and open hand, and “appropriately” represented genitals. The genital structures of the smaller female figure are conspicuously missing.

NASA decided to completely eliminate all attempted representations of nude human beings from messages accompanying the two Voyager probes, the next spacecraft to leave the solar system. Clearly, such censorship was not undertaken for the benefit of aliens.

Obviously, we know very little about aliens. It is probably a highly self-centered view to assume that our attempt to communicate should necessarily target alien “animals.” An openminded investigator would assume that we might attempt to communicate with an intelligent plant, for instance, or something like a plant. Like our own cells, plant cells are eukaryotic (having nuclei) as distinguished from less complicated cells (including bacteria) that characterize the kingdom of prokaryotes. Yet, even this view would very likely also be a short-sighted one.

Whatever the reasons for the great

Precambrian Extinction, whole phyla were wiped out in that relatively brief moment. Those strange life forms would otherwise have evolved into a modern terrestrial biology drastically different from the present one. The implication is that even plants would turn out to be closer to our expectations (and easier to communicate with) than the alien life forms we may ultimately detect.

It may be just as short-sighted to decide that knowledge of mathematics is a prerequisite for an intelligent species (Wittgenstein and others suggest as much). For that matter, there is no reason to assume that “intelligence” as we understand it is central to any other entity in the universe save Homo sapiens itself.

Still, if “intelligence” exists anywhere else in biological form, there is one thing we can be nearly certain of: that intelligent entity is very likely to be a sexual one because organisms must exchange genetic material in order to evolve. Joshua Lederberg was awarded the Nobel Prize in 1958 for his discovery that even bacteria have sex. They exchange genetic material and they evolve. In fact, since they are thought to have been among the Earth's first living inhabitants and since they can produce a generation every twenty minutes or so (in the case of *E. coli*), they are technically much more highly evolved than we are.

Advertently or inadvertently, we have managed to send several messages into space that could be interpreted as speaking very strongly about our own intolerance. Our communications suggest that aliens aren't entitled to know what we look like. Perhaps we should not be so skeptical about reports that aliens are abducting people to experiment with their sex organs.

In 1974, astronomers sent their first light-speed message into space in an attempt to communicate with extraterrestrials. As it turns out, even though the Pioneer and Voyager spacecraft are the fastest artificial ballistic objects in history, at 1/20,000th light speed, it would take about 100,000 years

for one of them to reach the nearest star. Unfortunately (or perhaps, fortunately), the Pioneer and Voyager probes are not headed for the nearest star and are not expected to enter the planetary environment of any star for at least a billion years.

Astronomers Frank Drake and Carl Sagan decided to use the million-watt radar transmitter at Arecibo, Puerto Rico, to beam a three-minute, light-Speed message to the constellation *Hercules* in 1974.

Because of its inherent simplicity, Drake and Sagan reasoned that binary mathematics would be the most universally acceptable form of quantization. Furthermore, the two astronomers decided that if aliens knew about mathematics, they would also know about prime numbers and numbers mathematicians call, “Zormelo numbers.” These are a family of numbers, like the number 35, that can only be divided by itself, 1, and the two prime factors (in this case, 5 and 7). Drake and Sagan used the Arecibo radar to transmit a signal consisting of 1679 “ons” and “offs”(zeros and ones). 1679 is a Zormelo number that can only be factored by itself, 1 and the prime numbers 23 and 73. Thus, intelligent aliens would deduce that the stream of 1679 bits must be compiled into a 23 by 73 raster grid. If the “zeros” and “ones” are assigned contrasting values (e.g., “light” and “dark”), then in one of several possible 23 by 73 compilations, the intended image appears. Finally, with one more leap of faith, the alien interprets intended information from the assembled graphic.

Like the Pioneer plaques, the correctly interpreted Arecibo radar message contained a picture of its vehicle (the Arecibo radar dish); a rudimentary map of the solar system; and a crude representation of human beings (a single stick figure). The Arecibo message also contained a representation of the right-handed DNA helix, the atomic weights of its five constituent chemical elements, the approximate number of DNA bases in the human genome, and a 1974 world population estimate.

5. Message in Many Bottles

In 1989, I installed one of my several artworks inspired by the Arecibo message at the Hayden Library at MIT. The artwork, entitled *Message in Many Bottles*, consisted of 1,679 generic, “Boston Round” sixteen-ounce glass bottles with phenolic caps mounted in large partitioned racks. “Ones” were water-filled bottles; “Zeros” were empty. The installation occupied eighteen aisles of library space in the basement “stacks” of the library. Hayden is one of MIT’s largest libraries. It contains all of the information the message refers to; all of the information needed to decode the message; and supposedly better-than-average terrestrial intelligence frequently visit the library.

No one decoded the message. There was some concern about whether or not the racks of bottles installed in the library aisles constituted a nuisance to scholars and, of course, there was ample discussion about whether the installation was actually art or not. Evidently, at least some of the problems inherent in extraterrestrial communications are not unlike problems we encounter when trying to communicate with each other.

Messages human beings compose for the purpose of communication with extraterrestrial intelligence are vast in context and yet they must be somehow self-revealing. Aristotle realized that we must first reveal ourselves to ourselves before we can reveal ourselves to others. In “Poetics,” his theory of art, Aristotle considered this problem of self-revelation to be an essential element of the poetics of tragedy. He called it the principle of “recognition and reversal” and, indeed, this is a theme that reverberates throughout the history of art and literature: I go all the way to the ends of the Earth in search of the Holy Grail. On the way, I kill my mother, engage in terrible adversity, unspeakable suffering and harsh travails. In the end, I finally arrive only to discover that the Grail has been in my back pocket the whole time.

It is the story of *Jekyll and Hyde*, *Moby*

Dick, *Oedipus*, *The Return of Martin Guerre*, *Fitzcarraldo*, and *The Wizard of Oz*.

The “other,” like the “monster,” invariably resides within. Everywhere else we go and in everything else we see, no matter how distant or remote from the world, there we find only reflections. In the Aristotelian view, we finally arrive at the edge of the universe and discover that the cerebral cortex is imprinted on the wall there and we suddenly pop out on top of our own heads.

Scientists who take the search for extraterrestrial intelligence seriously continue to construct elaborate and, for practical purposes, unintelligible digital messages for interstellar radar transmissions; but the universality of binary language is questionable on several grounds.

First, we are bilaterally symmetrical creatures in a world rife with other possible symmetries. We are immersed in traditions of cognitive dichotomy: right and left, positive and negative, true and false, good and evil. If we were instead radially symmetrical, we might consider some other form of mathematical expression to be the most likely “universal” one.

Zero wasn’t invented on our own planet until about a thousand years ago. Presumably intelligent creatures who built the Parthenon, the aqueducts of Rome, and the pyramids of Egypt, and those who first mapped the stars and calculated the Earth’s circumference did so without the use of zero.

Another problematical preconception is that scientists’ dependency on visual information for interstellar communications, whether in the form of rastered pixel arrays or engravings on message plaques, presumes that alien visual sensory organs will be available to view those messages. On our own planet, Kent Cullers, now at the SETI Institute in California, and who for many years was one of NASA’s principal investigators devoted to the search for extraterrestrial intelligence, is a blind man.

6. Poetica Vaginal

In 1986, I organized an artistic project to transmit vaginal contractions into space to communicate with extraterrestrial intelligence. The project, called *Poetica Vaginal*, involved artists, mechanical and electrical engineers, biologists, astronomers, professional dancers, architects, linguists, and philosophers.

A “vaginal detector” was built in a mechanical engineering laboratory and consisted of a water-filled polyallomer centrifuge tube mounted on a hard nylon base that contained a very sensitive pressure transducer. Dancers and other female volunteers (unsolicited) hygienically invaginated the detector in order to characterize vaginal contractions (the fastest was clocked at 0.8 Hz). The embedded pressure transducer was sensitive enough to detect voice, heartbeat, and respiration as well as voluntary and involuntary vaginal contractions.

Electronic music software was used to generate real-time harmonics of vaginal contractions until that frequency matched one of the frequencies in the set of unique frequencies of English speech.

A collaborating linguist bit-mapped those speech sounds (called “phonemes”) so that they could be generated in real time corresponding to vaginal “inputs.” A digital map of the analog detector output was also made in real time. In this way, three forms of the message were simultaneously generated: (1) an analog signal directly generated by vaginal contractions, (2) a digital map of the contractions, and (3) voice (English phonetic maps of vaginal contractions).

Collaborating electrical engineers built gating circuits so that *Poetica Vaginal* signals could be transmitted from MIT’s million-watt Millstone Radar transmitter at Haystack Observatory in Groton/Westford, Massachusetts.

Artists, architects, and mechanical engineers collaborated in the construction of a

“Vaginal Excursion Module” to contain electronics and human operators at the transmission site. A folding structure made of steel, cable, wood, and thatch materials, the Vaginal Excursion Module looked rather like a Native American “sweat lodge” mounted on a Mars lander.

Astronomers and astrophysicists collaborated in the selection of four nearby sunlike stars: Epsilon Eridani, Tau Ceti, and two unnamed sunlike (G-type) stars with RGO (Royal Greenwich Observatory) catalogue numbers. These stars are from ten to forty light years away. Their positions (right ascension and declination) were calculated so that radar signals could be targeted. The Vaginal Excursion Module was assembled at Haystack and preliminary test transmissions of vaginal signals were undertaken with sample vaginal signals recorded on audio tape. Then, on the eve of the planned live broadcast, the Millstone project Group Leader, a United States Air Force Colonel (Millstone Radar had been contracted to the Air Force by MIT) suddenly terminated the project.

7. Slow Boats and Other Problems

Like spacecraft-based experiments, radar transmission experiments in interstellar communications also have significant problems to overcome. There are no powerful radar transmitters in space, so transmissions must be sent through the relatively dirty window of atmosphere. This effectively narrows the range of frequencies that can be transmitted.

Millstone Radar was a convenient choice of transmission instruments for the *Poetica Vaginal* project not only because it is an MIT facility (a number of the *Poetica Vaginal* collaborators were affiliated with MIT), but also because it is one of the few radar transmitters that can generate powerful signals at frequencies at which sunlike stars make only relatively weak signals of their own. A million-watt radar signal between one and

ten gigahertz is “bright” enough to outshine the sun. That is, a megawatt signal is enough to make the sun appear to be “brighter” at those particular frequencies than any other G-type star.

One problem with this strategy is that it only works when the receiving entity happens to be located precisely in the center of the transmitted beam of radio photons (i.e., at the center of the columnated radar signal). Because radar waves are photons and photons diverge (according to the “inverse square law”)—like the focused beam of photons from an automobile headlight or a hand-held flashlight diverge—the radiated signal incident on a receiver drops off dramatically with distance from the center of the beam. Over interstellar distances, targeting must be extremely precise.

There are from 200 to 400 billion stars in our local galaxy, and a significant percentage of these are G-type (sunlike) stars. Owing to technical limitations, radar transmissions can only be made to one star at a time. To put this in perspective, there are many more stars in the Milky Way than there are fish in the ocean. One day we decide to go fishing for only three minutes. We hope that we are successful, but we are only equipped to catch one particular fish in an ocean full of fish. Our chances for success are extremely slim.

The biggest problem with high-speed messages for extraterrestrial intelligence is that at cosmic scales, even light-speed messages are very slow “boats.” The Milky Way galaxy is approximately light years in diameter. A transit from one side to the other and back again equals a 200,000-year round trip at the speed of light. The “mitochondrial Eve” (from which all living human beings are said to be descended) lived approximately 200,000 years ago.

If the mitochondrial Eve had somehow obtained the facilities needed to transmit a signal at the right frequency and with enough power to the other side of our own

galaxy, and that signal was received at the right moment 100,000 years ago by an alien intelligence who immediately beamed a corresponding message back in our direction, that message might not have arrived yet. Meanwhile, Eve evolves into another species. The mitochondrial Eve was probably not Homo sapiens as we know it.

The radar dish at Arecibo is not highly maneuverable because it is built into the hemispherical depression of an extinct volcanic crater. Signals transmitted from there can therefore only be aimed through a limited window. Sagan and Drake had to choose from stars appearing in that window at the time they transmitted their interstellar message. As a result, the light-speed message transmitted from Arecibo was beamed to a group of stars in the constellation Hercules that lie about 25,000 light years away. So, here we are, waiting in the chapel with fresh flowers for the spouse for 50,000 years: nude descending and descending and descending the staircase, bachelors waiting and waiting and waiting to strip the bride bare. It is tragic indeed.

Aside from any problems having to do with message content, three basic technical problems remain that surface in all experimental interstellar communications projects: First, billions of message copies are needed for billions of possible receivers. Second, the message carrier must be robust enough to survive harsh extremes of the space environment including thermal extremes, radiation, and vacuum. Third, for practical purposes, the integrity of the message carrier must remain intact indefinitely (at least for periods of time that are equivalent to periods we call “geologic time”). These are the problems that stitch together the immeasurable scale of the macrocosmos with the infinitesimal minutiae of the microcosm. They inspired my first artistic projects in molecular biology.

It so happens that bacteria, especially sporulating bacteria, can cope with the criteria of these three problems very well. They have been shown to survive the space en-

vironment for extended periods of time and can probably do so indefinitely. Many billions of exact copies of a single bacterium can be conveniently and inexpensively produced overnight.

8. Microvenus

In 1986, two of the *Poetica Vaginal* collaborators (myself and Dana Boyd, a Harvard geneticist and molecular biologist) decided to create a model bacterial carrier of human intellectual information. This work, called *Microvenus*, became the first work of art to be created with the recombinant tools of molecular biology and the first artwork to be created directly in the form of DNA (Davis 1996). *Microvenus* consists of a graphic icon (like a “Y” and an “I” superimposed) that was coded into a sequence of DNA nucleotides. The sequence was synthesized with Martin Bottfield at Harvard. The resulting synthetic oligonucleotides were purified at UC Berkeley with Dana Boyd and later transformed at Harvard with laboratory strains of *E. coli* by single-strand, blunt-end ligation with pUC19 and pSK-M13+ plasmid vectors.

Microvenus was the first of several artworks that employ increasingly complex strategies to artificially encode human knowledge into DNA. We assigned a set of phase values to the four DNA bases (C = x; T = xx; A = xxx; G = xxxx) in order to code the *Microvenus* icon. This strategy was combined with the Zormelo raster-mapping technique used by Drake and Sagan to compose the Arecibo message. *Microvenus* was coded into a 35-bit (7-bit by 5-bit) Zormelo raster containing the icon:

```
10101
01110
00100
00100
00100
00100
00100
00100
```

Using phase value assignments for the four DNA bases, the number comprising this binary raster can be expressed as “CCCCCAACGCGCGCT.” The first binary digit on the upper left (top row) can be expressed as “C” because that number has a single phase, that is, it is not immediately repeated. It remains in the same state (“1”) a single time before switching to the other binary digit. The second, third, and fourth digits in the second row can be expressed as a single “A” because that number (“1”) repeats three times before switching to the other binary digit. The next four binary digits can be expressed as “G.” In this way, the 35-bit *Microvenus* raster is coded into 18 DNA bases. In addition, a short sequence, “CTTAAAGGGG,” was added as a decoding clue (referring to the DNA base-to-phase value assignments). The combined 28-mer *Microvenus* DNA sequence reads “CTTAAAGGGGCCCAACGCGCGCT.”

The *Microvenus* icon is both an ancient Germanic rune for the female Earth and a graphic representation of genitalia heretofore censored from messages to extraterrestrial intelligence. No provision was ever made to disseminate *Microvenus* bacteria into space and so to risk contamination of extraterrestrial environments with terrestrial bacteria. But *Microvenus* bacteria, perhaps as *Bacillus* spores, would have significant advantages over radar and spacecraft as carriers of messages for extraterrestrial intelligence.

9. The Riddle Life

In the early 1990s, I discovered that some scientists had thought about writing messages into DNA some thirty years before the *Microvenus* organism was made. I found two books that made minor references to this little-known episode in the history of science (Fischer and Lipson 1988; Beadle and Beadle 1966). The events took place in the year 1958.

Watson and Crick (with the help of Rosalind Franklin) had resolved the structure of

DNA some five years earlier, but nearly another decade would elapse before scientists resolved the working details of the genetic code. The triplet-codon operational aspects of DNA were known, but the distribution of the twenty amino acids according to their representations by the sixty-four possible nucleotide triplets was not resolved until 1967. In the interim, biologists realized that the operation of the genetic code was in many ways similar to the operation of natural language. A given triplet codon has as much to do with the amino acid it represents as, say, the word *red* has to do with the phenomenon or perception of the color red. In this way, the genetic code works like language in the formal, linguistic sense and when scientists discovered this, they waxed just a little bit poetic. For a few years there were even arguments in the halls of biology about whether or not there were “spaces” between the “words.” Biologists designated these competing views as “comma-” and “comma-free” codes. Once again, science had reached the limits of understanding and found its own language reflected there.

On the occasion of the 1958 Nobel Prize ceremonies in Stockholm, two scientists exchanged several encrypted messages based on the linguistic operations of the genetic code. Max Delbrück and George Beadle sent a series of messages to each other in which letters of the English alphabet were substituted for the positions of amino acids in the 64-place code (Fischer and Lipson 1988).^{fig.1} Delbrück’s messages contained “commas” or “space” codons. Beadle’s were “comma-free.”

The final message in this exchange was a DNA model constructed of 174 toothpicks in four different colors. Delbrück had shipped the model to Stockholm and Beadle decoded it at the podium in a formal lecture that followed his Nobel Prize award. The model contained the message, “I am the riddle of life know me and you will know yourself.”

Delbrück’s riddle was the “Riddle of the Sphinx.” “Know Thyself” was the edict of Apollo at the temple of Delphi and the doctrine

of its famous oracles. It was the reason Socrates went running around Athens trying to prove that he knew nothing at all (which evidently contributed to his demise).

In 1995, I was inspired by all of this to organize an exhibition at Harvard’s Boylston Hall and Harvard Yard called *The Riddle of Life*. That exhibition featured the participation of both artists and scientists (Nadis 1995).

Professor Al Wunderlich, then head of the Painting department at the Rhode Island School of Design (RISD), contributed a rack of 174 test tubes containing four different light-emitting phosphors. RISD students contributed a 174-picket fence (installed in Harvard Yard) stenciled with the images of four different animals. Rob Stupay, an MIT graduate student in architecture contributed a computer-manipulated graphic of 174 one-, two-, three-, and four-story houses on a street in Somerville, Massachusetts. We made models with 174 toothpicks; 174 broomsticks; ladders with 174 rungs; and four strands of knotted rope with 174 knots. All of these artworks contained the message, “I am the riddle of life know me and you will know yourself.” My own most significant contribution was the 174-mer Riddle of Life DNA.

Delbrück and Beadle could not synthesize actual DNA in 1958. In fact, DNA could not be conveniently synthesized until the mid-1980s and a molecule as large as the 174-mer Riddle of Life DNA could not be conveniently synthesized before the advent of PCR (polymerase chain reaction)—assisted synthesis which was not widely available to biologists until the early 1990s.

In the winter of 1993–1994, I arranged for the synthesis and purification of Riddle of Life DNA at Burkhardt Wittig’s laboratory at Free University in Berlin. Later (1994), I assembled and cloned the Riddle of Life oligonucleotides into *E. coli* with Stefan Wölfel at Alexander Rich’s laboratory at MIT.

Permission was obtained from Harvard’s Biosafety Committee and the Cambridge (Massachusetts) Biosafety Committee to

install the Riddle of Life *E. coli* in a locking, double-glass fronted refrigerator that was obtained for that purpose and installed in Harvard’s Boylston Hall.

The journal *Nature* published a page-long article about the Harvard Riddle of Life exhibition that suggested that we had built a “bridge between two cultures” of science and art. Unfortunately however, we didn’t quite make it all the way across the bridge.

10. Regulatory Issues: Production, Exhibition, and Public Display of Genetic Art

In a last-minute “clarification,” Harvard’s Biosafety Committee reversed its initial permission to install Riddle of Life *E. coli* in the refrigerator in Boylston Hall. This finding was made in spite of the fact that *Scientific American* had recently nationally published a do-it-yourself “Amateur Scientist” column instructing hobbyists about how to create their own recombinant *E. coli* at home in an aquarium with a light bulb incubator.

Five years later, Riddle of Life organisms were finally displayed publically in special enclosures at Ars Electronica 2000 in Linz, Austria (Nadis 2000). Arrangements for physical and biological containment were made with full authorization and oversight of Austrian biosafety officials.

Genetic artists who choose to manipulate the DNA of living organisms must obviously confront significant technical, architectural, climate control, and biosafety issues connected with public display of recombinant organisms. The same is, of course, true for curators who choose to mount such exhibitions in publically accessible venues. Gallery and museum operators have often found themselves unable or unwilling to undertake the challenges that are required for the handling and display of genetic (genetically modified) art. Daunting security and liability issues must be overcome. Curators are also concerned with founded and/or unfounded

public hysteria about genetic manipulation in general and the attitude of the press.

In the laboratory, organisms are relegated to increasing levels of containment based on how dangerous they are perceived to be to other organisms (including human beings). Organisms like *E. coli* (the human intestinal bacterium) were chosen to become the workhorses of biology because they normally coexist with human beings without any attending pathology. Although they comfortably coexist with human beings, *E. coli* make bacteriotoxins which are harmful to other bacteria. This accounts for their overwhelming majority among bacterial populations of the human intestinal tract. In fact, *E. coli* are crawling all over us most of the time. They are found inside and outside of human beings everywhere human beings themselves are found.

Protocols for handling these organisms in the laboratory basically specify common-sense hygiene. Genetically engineered *E. coli* are stored in airtight containers. Contaminated waste and used containers are routinely autoclaved prior to disposal.

Particularly dangerous organisms are handled with much more rigorous hygienic practices and more elaborate arrangements for isolation and containment. Pathogens like typhus, HIV, or anthrax are manipulated air-locked in glove boxes. Gasses, including ordinary atmosphere coming into contact with such organisms, undergo combustion on the way out of the building. Airborne pathogenic particles are thereby incinerated.

The most dangerous organism of all is handled somewhat differently. That organism, responsible for the extinction of one species every day (some say it is responsible for one species per minute) is of course, *Homo sapiens*. There are no protocols for containment of biologists themselves.

Occasionally, scientists will violate minor rules. There are, for instance, considerable formalities, dictated by three separate biosafety authorities, involved in the authorized transport of a single petri dish of *E. coli*

cultures over the approximately one mile distance that separates Harvard and MIT. Some scientists consider such regulation excessive and routinely transport their cultures back and forth without attending to paperwork and interviews that constitute legally required oversight.

Whether or not scientists regularly abide by these rules, artists must carefully observe them and they can expect to encounter scientific anxiety surrounding the production of genetic artworks. There are, in fact, no protocols in place for the disposition of genetically engineered organisms that are used in the production of art. As a result, some scientific workers may feel that only other scientific workers can safely handle recombinant materials. In fact, science has no particular franchise on responsible conduct. The history of scientific misconduct and the horrors perpetrated against humanity and the environment—where science has been named as a principal excuse—now account for themselves. To date, artists have depended on collaborating scientific laboratories for the production of genetic artworks. Artists are just beginning to consider their studios as places where true genetic engineering might be undertaken for artistic purposes. An important condition of artistic collaboration in the laboratory is that artists must observe scientific protocols or they will quickly lose access to those facilities. Responsibility for all ethical (including specifically regulated) activities involving the laboratory—such as the disposition of organisms outside of a laboratory—would normally entail the culpability of the laboratory where said organisms were produced.

11. Genomic Art

In a relatively short period of time, artists have moved from the traditions of naturalism as mimetic representation to the direct manipulation of life itself. To date, the extent of these artistic manipulations has been work with single genes (or sets of genes) and their expression or disposition within the cells of host organisms.

In the course of time, artists will find themselves engaged in much more ambitious projects. Their involvement with the techniques of molecular genetics and molecular biology can be expected to increase as the technology itself, understandings of genetics, and, now, human genomics also advance. Soon, works of art will be created at the scale of many genes, even whole genomes.

Genomes are large reservoirs of highly organized information that have elaborate, builtin or self-generated systems for data interpretation and analysis. Since these systems are made of nucleic acids and proteins, they operate with a level of sophistication that has never been present in the kind of straightforward mathematical operations used to handle conventional databases.

Art that, in a biological sense, consists of large, randomly compiled DNA sequences cannot be automatically replicated *in vivo*. Large numbers of simple repeats of a single or of a few DNA base-pairs are biologically unstable. Some sequences can have properties that lead to instability and can even be toxic to host cells.

Genomic art, and even genetic art at a larger scale, must be able to encode large amounts of arbitrary information into “biologically friendly” DNA molecules. The DNA supercodes were designed for this purpose.

12. Supercodes and the Milky Way DNA

In 1995 I created the first DNA supercode ^{fig.2} for the purpose of encoding a map of the Milky Way Galaxy into a molecule of DNA (Davis 2000).

The Milky Way Map is about a 1.1 kilobyte digital picture file containing the NASA Cosmic Background Explorer (COBE) map of the Milky Way, which can be represented as a string of binary digits.

The supercode uses most of the 64 nucleotide triplets to represent base-20 numbers that are used to code the input information (in this case, the COBE map). A second level of coding is used to solve biological problems associated with coding of arbitrary data directly into DNA. The three termination or “stop” codons (TAA, TGA, and TAG) are reserved to function as “switches” between different coding modes and to specify mononucleotide simple repeats that appear in the input data. The four mononucleotide triplets (CCC, TTT, AAA, and GGG) are used to specify corresponding DNA bases (C, T, A, and G).

The DNA supercode has three coding modes: (1) “TGA” is used to indicate biologically compatible segments of input data that are directly coded into DNA. (2) “TAA” is used to indicate mononucleotide repeats where a triplet invoking a base-20 number precedes one of the triplets indicating a particular DNA base. (3) “TAG” is a noncoding or “delete” mode indicating that a sequence does not contain input data. TAG-specified sequences can contain recognition sites for enzymes needed for manipulation and assembly of the complete sequence, or for the insertion of essential functional genes to facilitate the stability of a completely assembled sequence in vivo.

The first step in supercoding a given database uses the TAA mode to encrypt all termination codons appearing in input data that has been directly coded into DNA. All termination codons inserted as supercode mode-switching elements are deleted in the

decoding process. Codons that can initiate translation (ATC, GTG, TTG, CTG, etc.) of input data by host cell biological machinery may also be encrypted in order to prevent undesired expression in vivo.

Supercode, like the genetic code itself, is highly degenerate, so a large number of DNA sequences could be generated that would each be decoded into exactly the same input data. In the case of the Milky Way DNA, for instance, many more sequences could be generated that contain the map of the galaxy than the number of stars it actually contains.

My inspiration for creating the Milky Way DNA was a children’s story about a spoiled child who could find no happiness until she met a mouse with a map of the world in its ear.

The first Milky Way DNA was synthesized in 2002 and installed at the *Biologia Como Arte* exhibition (Queiroz 2002) in Barcarena, Portugal (2002). The entire Milky Way DNA sequence comprises a 3867 bp DNA molecule that is larger than many plasmids and is the approximate size of many complete viral genomes.

13. Silent Code

DNA supercode solves many of the problems associated with encoding very large databases into DNA. One significant problem remains, however. An organism will tend to delete a DNA sequence that serves no significant biological purpose.

Dana Boyd and I have recently created a next-generation code called the “Silent Code” that uses the degeneracy of the genetic code to insert arbitrary information into the coding sequence of a gene without altering the biological transcript of that gene. Encoded arbitrary information will not be rearranged or deleted by a host organism as long as it resides within the coding sequence of an essential gene.

The Silent Code uses codons that represent 18 of the 20 amino acids in the genetic

code (44 of 64 codons). Each of these 18 amino acids are represented by 2 to 6 triplet codons in the code. (18 codon sets corresponding to 18 of 20 amino acids). Each of these codons is assigned a binary number value in the Silent Code. Codon sets of two triplets are assigned the values “0” and “1.” The codon set containing three triplets is assigned “0,” “1,” and “00” values. Codon sets of four triplets are assigned the values “0,” “1,” “10,” and “11.” Sets of 6 codons are assigned “0,” “1,” “10,” “11,” “00,” and “01” values.

Termination codons (TAA, TGA, and TAG) and the single codon sets for methionine and tryptophan (ATG and TGG) are not used in the Silent Code. ^{fig.3}

The Silent Code contains less arbitrarily encoded information per DNA base-pair than supercoded DNA, but the Silent Code is indeed very “quiet,” biologically. Protein structures and interactions, overall number of base-pairs, and the energy requirements of a host cell remain essentially the same with or without Silent Coded information.

Simultaneous coding of distinctly different, multiplexed (extrabiological) databases is also possible within the individual DNA sequences of naturally occurring genes. It is “silent” because it, too, can be accomplished without altering either the biological translation products of original, unencoded DNA sequences (i.e., naturally occurring amino acids, peptides, and proteins) or the number of individual nucleotides that normally comprise unaltered, natural genes (this form of Silent Code will be described elsewhere). These two kinds of DNA Silent Code constitute forms of genetic manipulation that are very likely to be less “interfering” with host organisms and more environmentally friendly than all previous genetic modifications. These may be undertaken with negligible effect on the ecology of interactions a host organism may have with other organisms and with the environment as a whole.

14. Conclusion

Beyond historical notions about naturalism in art, artists are now confronted with art that truly coincides with nature itself. There are opportunities to create new kinds of genomes that contain more than just genetic instructions for biological interactions. Artists will create self-perpetuating genomes of human spirit and imagination. It is unlikely that skepticism or indifference of the scientific community will serve to prevent these developments. On the contrary, provincial scientific attitudes will probably continue to provide artists with their principal sources of inspiration. Perhaps ironically, genetic artists may ultimately behave with more environmental sensitivity than science itself has demonstrated to date.

Two projects involving the DNA Silent Code are currently under way.

Acknowledgments

The author wishes to gratefully acknowledge the contribution of Peter Seidler, who has partly supported the synthesis and assembly of the Milky Way DNA.

References

- Beadle, George Wells, and Beadle, Muriel. 1996. *The Language of Life: An Introduction to Science of Genetics*. Garden City, NY: Doubleday
- Couzin, Jennifer. 2002. "Active polio Virus Baked From Scratch." *Science* 297 (July 12).
- Davis, Joe. 1966. "Microvenus." *Art Journal* 55, no.1: 70–74.
- Davis, Joe. 2000. "Romance, Supercodes and the Milky way DNA." In *Ars Electronica 2000: Next Sex*, edited by Gerfried Stocker and Christine Schopf, 217–235. Vienna: Springer Verlag.
- Fischer, Ernst Peter, and Carol Lipson. 1988. *Thinking About Science: Max Delbrück and the Origins of Molecular Biology*, New York: Norton.
- Nadis, Steve. 1995. "Genetic Art Builds Cryptic Bridge Between Two Cultures." *Nature* 378 (November 16): 229.
- Nadis, Steve. 2000. "Science for Arts Sake." *Nature* 407 (October 12): 668–670.
- Queiroz, I. P. 2002. "A Biologia Ao Serviço Da Arte." *A Capital* (May 19).

Joe Davis

Eduardo Kac, ed., *Signs of Life: Bio Art and Beyond*, pp.249–266, Joe Davis, "Cases of Genetic Art," © 2007 Massachusetts Institute of Technology, by permission of The MIT Press.

Born in 1951. He is an American artist and research affiliate in the Department of Biology at MIT, and in the George Church Laboratory at Harvard Medical School. His research and art includes work in the fields of molecular biology, bioinformatics, "space art", and sculpture. Additionally, Davis has contributed to projects associated with the DIYbio movement. In 2001, the *Washington Post* termed Davis the "éminence grise of the 'bioart' movement." Selected Award: the Golden Nica, The Prix Ars Electronica (2012)