

## 「遺伝子の退化によるヒトの進化」

高畑 尚之 氏

今日お話ししたいと思っているのは、前回に少しこれに関係したことを申しあげたのですが、データも何も示さないで雑駁な話をしましたので、もう少し自分の研究と関係して直接的なデータをご覧になっていただきながら、私が話したいと思っていることを前回と同じなのですけれども、もう一度強調させていただきたいということで、よろしくお願ひします。

ゲノムという言葉が巷に最近溢れておりますが、そういう情報がたくさんいまは出てまいりまして、その観点から生物を観たときに、いったい何がわかってきているかということが、一つ申しあげたいことと関係している点でございます。

ヒトゲノムは、2001年に解明されました。世界的なコンソーシアムによって国家的なプロジェクトになっているわけですが、そこから例えば生命現象の非常に基礎的な情報を引き出せますし、それから遺伝子と関係して何か新しい将来的なものがつくり得るのではないかという期待もあるわけです。しかし、進化という点から見れば、まったく違った情報も与えているということを、最後にお聴き願えればと思います。

ゲノムといっても、生物をやっておられる方には当然の言葉ですが、耳慣れない言葉かもしれないと思ひまして、一応、定義みたいなものを書きました。

我々はお父さんとお母さんから半分ずつ染色体の組をもらっていますが、それぞれが融合する前の精子や卵子の細胞にあるDNAの全体の量をゲノムと言ひます。ですから普通、ある生物のゲノムと言へば、その生物をつくるのに必要な最少不可欠の遺伝情報が組み込まれている、そういう実体です。

ですからゲノムサイズというのは、このDNAの総量のことで、いろんな測り方がありますがけれども、ここでは一番測りやすい表現であります塩基対の数ということで、以下ずっと話を進めさせていただきたいと思ひます。

ここに書いてありますのは全部、ヒトの病気に関係するような病原体ですが、そういった細菌、バクテリアのゲノムが決まってまいりまして、現在では多分70種ぐらい、もう

既に決まっているんだと思います。

ご覧いただきますと、ゲノムサイズはキロベースが単位になっています。1000 ベースペアが1単位であります。一番小さいゲノムサイズは、マイコプラズマというもので、580 キロベースしかありません。一番大きいのは、現在のところ、シアノバクテリアと言われているものでありまして、1万3200キロベースもあります。ですから、原核生物、バクテリアの仲間の遺伝情報というのも、DNAの量から言いますと、相当バリエーションがあるということがわかります。

なぜバリエーションがあるかというのと、これは持っている遺伝情報、遺伝子の数が違っているためです。原核生物の非常に大きな特徴は、横軸にゲノムサイズを採って、縦軸に遺伝子を採りますと、見事な相関関係にあるということです。これは傾き1遺伝子あたり約1000ベースある、もっと正確には1.1キロベースですが、その傾きでゲノムサイズが決まってくる。遺伝子数が決まるとゲノムサイズが、かなり正確に決まってしまう。

こちらのほうは単位がキロベースですので、傾き1の直線上にぴったり乗ってしまう。それは何を言っているかといいますと、原核生物のゲノムは非常にコンパクトで、余分なものは何もない。遺伝子以外の部分はほとんどないということになります。

それとは全く違うのが、我々ヒトを含む高等生物、真核を持った生物の染色体とDNAの関係です。つい最近まで私もこういう構造を知らなかったのですが、染色体は光学顕微鏡で観ることができます。色素で染めることができ、中学校や高校での生物でも、この染色体を観察することがあるわけですが、このDNAになりますと、これは光学顕微鏡の世界ではなくて、電子顕微鏡以下の世界になります。特にナノテクノロジーを使わないかぎり、DNAを直接観ることはできませんので、この間には非常に大きなスケールの違いがあります。

そこでDNA二重螺旋と染色体の間ですが、こんなふうになって、DNAそのものの、元々二重螺旋になっていますが、それがヒストンなどのタンパク質に付いて非常に高度な構造を採って、スーパーコイルを重ねながら染色体になっている。

ヒトの場合は後で出てまいりますけれども、だいたい36億のDNA塩基対からゲノムはなっています。1列に並べますとだいたい1.5メートル。お父さん、お母さんから1.5メートルずつ来ますの、だいたい3メートルのものが身体の細胞のそれぞれに入っているわけです。

ところが細胞核というのは5ミクロンぐらいしかありませんので、非常に小さな直径を持つ細胞核の中に3メートルぐらいのものが入っている。ヒトゲノムというのは非合理的なほど巨大なものになっています。

ゲノムの配列を直接決めたわけではありませんけど、重さでだいたい調べられているものをも含めると、各種生物、我々を含む仲間のゲノムの大きさがどんなものかというこ

とがわかります。

これはメガという単位を持っているので、100万塩基対が単位になっています。一番小さいのがイーストの仲間でありまして、12メガですので1200万塩基対からなっています。大きい順に並んでおりまして、ヒトになりますと、先ほど申しあげましたように36億の塩基対からなっています。ヒトが一番大きいかということ、決してそうではありませんで、それよりも大きなゲノムを持つ生物がいっぱいあります。植物の仲間もありますし、動物の仲間もあります。

アメーバー、これは原生生物ですけれども、それが現在知られている中では一番大きなゲノムを持つと言われておりまして、70万メガぐらいの大きさがあります。

ここにCバリューと書いてあるのは、ゲノムの重さとか長さが生物を特徴づけているというので、キャラクターイスティックのC、あるいは1つの生物では個体によらないという意味でコンスタント、とこれらのC使って、Cバリューということ、いままでゲノムサイズを表していたのが、生物学者の習わしでした。

ここに書いてあるのはすべてゲノム計画が進んで、遺伝子の数がわかったものです。ヒトの場合、先ほど申しあげましたように、36億の塩基対からなるゲノムですが、ここに含まれている遺伝子の数は3万ないし4万だと言われていています。1.5メートルにもなる巨大なゲノムDNAの中に3万の遺伝子しかないというのが、むしろパラドックスであります。

原核生物の遺伝子の大きさのように、例えばこの遺伝子のサイズが1キロぐらいだといえますと、この3万、あるいは4万の遺伝子が36億のゲノムの中で占める割合というのは1.5%ぐらいにしかありません。他の98%以上がいったい何をやっているかというのは、半分ぐらいわかっていますが、残りの半分はほとんどわかっておりません。

それからヒトゲノムが出たときに、みなさんびっくりしたのは、こういう大きなゲノムサイズに対して少ない遺伝子数です。ショウジョウバエ、遺伝実験によく使われる生物ですが、それと比べてみますと、ショウジョウバエのゲノムサイズはヒトの30分の1ですが、遺伝子の数は半分近くもあるということです、ヒトはショウジョウバエのたった2倍ぐらいの遺伝子数しかないというふうな新聞報道がされました。

確かに他の生物、線虫などの一番小さなゲノムを持つ下等生物を観たときに、そういうものでも1万ないし2万程度の遺伝子を持っておりまして、ヒトのゲノムでは、何か特別なことが起こったのではないかと思えてくるわけです。

もちろんゲノムの配列というのは全部決まっておりますので、その中にいったいどういうものがあるかということ、ある程度推測することができます。その中で、ヒトのゲノムを観てみますと、ここに書いてあります分散型配列と呼ばれているもの、要は身勝手に

自分のコピーをゲノム中に撒き散らす、そういう自己的なDNA配列がありまして、何とそれが、この36億の塩基のうち44%ぐらいを占めている。まさに半分ぐらいは、そういう身勝手に自分のコピーをゲノムの中で増やしているいわばがらくたですけれども、それを溜め込んでいるという状態で、ヒトのゲノムはできています。

36億の半分は、そういった、自分勝手な、身勝手なDNA配列だということがわかるわけですが、それでも、まだ18億のDNAがありますが、その内に3万ないし4万の遺伝子しかない。ですので、まだ40%ほどが何をやっているかわからない“がらくた”があるわけです。それは他の生物と比べてみますと、明かにこういう“がらくた”DNAの割合が、高等生物であるヒトでは、極端に大きくなっているということがわかります。

C値パラドックスというのは、大きなゲノムなのにささやかな遺伝情報という意味合いでよく言われてきたことですが、ゲノムのデータが出てきますと、半分ぐらいは、それで説明できる。つまり分散型の身勝手なDNA配列で説明することができますけれども、完全にはまだ説明できない。したがって、残りの部分が何をやっているかということが非常に気になるわけです。そのことが、特にヒトを含む哺乳類、脊椎動物で顕著ですので、何かそういう高等な生物だと我々が思っているものには、ゲノムレベルで特別な進化が起って、それがこの位置まで来ているのではないかというふうに思われるわけです。

今日、主にお話したいのは、そういうゲノム情報に基づいて、梅原先生がおっしゃっているような循環と共生という概念を、生物学の立場からできるだけ裏付けるような、そういう視点から、こういうゲノム情報を観てみたらどういうことがあり得るだろうかということで、以後お話ししたいと思います。

アリとアリマキは生態学的な共生関係にありますが、いまからお話したいのは、このアリマキです。これは害虫としてよく知られておりまして、嫌われておりますが、ゲノムのレベルから観ると大変おもしろい共生関係を示しています。

このアリマキのお腹の中には脂肪体と呼ばれる細胞がいくつかあります。その脂肪体の中を観てみますと、菌細胞と呼ばれているものが、赤で染まっておりますけれども、いっぱいありまして、その菌細胞の中にブフネラと呼ばれる大腸菌と近縁のバクテリアがいっぱい詰まっております。

このブフネラと呼ばれている共生体のゲノムが去年、完全に決まりました。これはマイコプラズマ、最少のものよりは少し大きいぐらいですので、だいたい600キロベースのゲノムがあります。そのゲノムを観て、このアブラムシとそのお腹の中にある共生体ブフネラとの間の関係性を申しあげたいのです。

その前に、アミノ酸は20種類あるわけですけれども、下等な生物ではグルコースから出発して全部合成することができる、原理的にできるようになっている。しかし、高等に

行けば行くほど合成できなくなる。例えばヒトですと、このトリプトファン、メチオニン、リジン、フェニルアラニン、ロイシン、イソロイシンとか、こういうものを合成できませんので、合成できないものは食事として摂らないといけないという意味で、必須アミノ酸になっています。

このことを、先ほどのアリマキのお腹の中にいるというブフネラで観てみます。アブラムシは、ヒトが必須とするこの8種のアミノ酸を、やはり合成できません。というのは、アブラムシはヒトと同じように、それを合成するのに必要な酵素遺伝子を欠いてしまっている。それに加えて、アルギニン、ヒスチジンも合成できません。ですから、アブラムシの必須アミノ酸はヒトと違って10種です。それを全部外から摂らないといけない状態になっています。

逆にブフネラを観てみますと、ここにあります、チロシン、メチオニンなど8つぐらいでしょうか、これらのアミノ酸を合成することができません。それは外から摂らないといけないわけですが、実はブフネラの場合には、アブラムシが合成してくれているアミノ酸を使うことができます。

逆に、アブラムシが合成できない、この10種の内、メチオニンを除く9種は、ブフネラが合成することができます。つまりブフネラがその遺伝子を持っていて、グルコースから合成して、それを自分だけではなく、アブラムシにも出して、この二つの共生体全体としてまとまっているということがおわかりになると思います。

ですから、その共生体を考えてみますと、外から摂らないといけないアミノ酸、必須アミノ酸はたった1種でありまして、後は極めてコンプリメンタリーになって、お互いお互いを支えているということになっております。

ですから、ゲノムのデータがないので出しませんが、既にこの共生体、多分2億年ぐらいの期間が経っていると思いますが、その間にお互いが重複して何か、合成をしないといけないという部分を、できるだけ削除して、どちらかがやってくれば、それを両方で使用すると、そういう効率化を図ってゲノムの縮小化をしてきた。ですから、縮小化と共にブフネラでは、ある遺伝子がなくなってしまうという事実をつくってきています。

こういった例を少し、なるべくヒトに近づけてお話しして、ヒトもこういう共生体とあまり無関係ではないということ、最後に申しあげたいのですが、次の話は恐竜と色盲。

我々は男性ですと4%ぐらいの色盲が必ず出るわけですが、なぜ4%ぐらいの色盲が男性で、いまだに出るのかということを見ると、これは我々の祖先が中生代、1億年くらい前ですけれども、そのころはいわば夜行性の動物であったことと関係します。この習性を余儀なくさせたのが恐竜でありまして、恐竜が昼間ドミナントであったために、我々の

祖先は夜間でないと活動ができない、そういう存在だった。

この色を見るのに必要な遺伝子が実は三つあり、これによって三原色、青と緑と赤を見るわけですが、そこにラムダマキシマムと言いますか、吸収が最大になる波長が書いてありまして、短い波長のものは青ですが、これを見るのには、第7染色体にある遺伝子で認識する。

それから緑の530ナノメートルの光を認識するには、錐体細胞にあるオプミンというタンパク質が、その波長を吸収して、それを緑だというふうに見る。それから赤も同じですね。そういう関係にある。それから明暗がロドプシンと呼ばれている、たんぱく質でこういう桿体細胞で認識される。

中生代に恐竜が支配していたときに、我々の祖先はべつにあまり色を認識する必要がなかった。しかし元々こういう認識は、魚からできます。熱帯魚なんか非常にきれいな色をしています、あれは自分自身で三原色を見ることができるといえます。

元々古い遺伝子なのにもかかわらず、実は中生代に緑のオプシンが死んでしまいます。つまり死んでもべつに色を見る必要はありませんから、なくてよかったわけです。いなくてもいいという状態になりますと、遺伝子は死んでしまいますので、霊長類の祖先の段階では、我々は緑を見ることのできない色盲であった。それから赤オプシンは変成して、赤でも波長のずれた橙色しか見えない、そういう状態になります。

ところがその後、いろんなことが起こります。図を見ていただきますとわかるように、新世界猿は、この変成した橙オプシンから、赤オプシンをつくり出します。それと同時に、これと対立遺伝子として緑オプシンもつくり出します。これらはX染色体の上にあります。

ですから、メスはこの赤、または緑をヘテロで持つことができますので、昼間三原色を見ることが、幸運なメスでできるようになりました。問題は、そういうふうに対立遺伝子として赤と緑が、実はこの時期にできたのですが、さらに我々の直接の祖先に近いところに行きますと、この赤と緑が1本のX染色体の上に重連してきます。これはどういうことかということ、こことここで組換えを起こすと、この部分を一つの染色体から持ってくるという、そういう変化をやります。それが、非常に頻度が高く起こることができたので、こういう状態から、こういう重連の状態にすることが、実は我々の祖先でできたのです。

これは1本のX染色体上に乗っていますので、オスは必ずXを1本最初から持っていますから、赤も見れば緑も見える。それからメスは当然、最初から持っていたわけですが、オスもメスもすべての個体が平等に三原色を見ることができるといえることだったと思います。

ただ、申しあげたいことは、そういうことが起こったのは、こういう状態からこちらへ行く分子メカニズムがあったためであり、その分子メカニズムがいまでも働いているために、実はヒトの集団を見ますと、すごいバリエーションが、この赤と緑の分子の中に

はある。あるヒトは、この赤と緑を1つずつしか持っていませんけれども、別のヒトは緑を二つ持ったり、三つ持ったりします。

そういう状態なら正常でいいのですが、そういうふうに正常なものが一つずれて並んで、組み替えが起こりますと・・・

(3テープ終了)

・・・こちらのほうは赤を一つしか持たないけれども、こちらのほうは緑を二つ持っているというふうに、染色体の間で遺伝子の交換が起こってしまいます。これを不等交差と呼びます。そうすると、こちらは正常なのですが、こちらは緑を見るレセプターがありませんので、緑に関する色盲、色覚異常ということでデュートロノピアという病気になっています。

申しあげたいのは、ゲノム変化というのは、こういうふうに遺伝子をつくり出すことが希にあるのですが、つくるメカニズムは昔もいまも、あまり変わってなくて、いい結果をもたらしたこともあるのですけれども、現在でもそれが働いているために、我々の4%ぐらいが色覚異常として苦勞するということになるわけです。

なぜヒトの集団で4%の男性が、いつもゲノムに関して苦勞しないといけないのかという質問をすると、ヒトの集団だけを見ていたのではわからない。結局、やはり霊長類の祖先の段階でいったい何が起こったかということを知らないといけないという意味で、生物学においては進化学的な視点からものを見る必要があるわけです。

もちろん進化的なことを何もいわなくても生物学はできるわけですが、それは単に記載であったり、相互の関連がつかないものです。そういうコヒーレンスを上げるには、進化の仕組みを知ることが大事だということを、この言葉は述べています。

それから次の話題は、食物とゲノムの関係ということでちょっとお話ししたいと思います。これは壊血病の人の口です。出血異常があります。これはもう先生方ご存じのとおり、壊血病というのはビタミンCが欠乏すればなるわけであります。

バスコダガマが喜望峰を回ったときに、160名の船員を積んでいたのですが、その内の100名が壊血病で死んでいます。これは当然、長い航海をしていますと、当時ビタミンCが必須であるということを知らなかったため、新鮮な柑橘類も何も持ち込まなかったために、こういう事件が起こりました。

それがずっと続きます。18世紀、19世紀の大英帝国の当時になりますと、さすがに柑橘類を持ち込まないといけないということで、レモンジュースとかオレンジジュースをたくさん持って行くようになりました。だから英国海軍の水兵さんがライムが好きだと言われるようになるわけです。

その後、壊血病の阻害因子としてビタミンCが発見されます。グルン酸やグルノラクトンを経て、アスコルビン酸、ビタミンCが合成され、さらに酸化を受けてデヒドロアスコルビン酸が分解されるという流れになります。そこに関係している遺伝子が、実は霊長類ではなくなっているために、我々はビタミンCを外から摂らないといけないわけです。

なぜそんなことが起こったかということが問題です。その前に、ヒトを含む新世界サルもこの遺伝子を持っていませんので、ビタミンCを摂る必要があります。モルモット、コウモリ、ゾウも摂る必要があります。こういう動物にビタミンCを食物の中に入れてあげなければ、壊血病を誘導することができます。

とにかく、新世界サルからビタミンCを食物として摂らないといけないようになりました。遺伝子がなくなってしまったのですが、この、なぜなくなったかということが、ここで申し上げたいことです。

それは、現代の新世界サルの食性を見ますと、例えばクモザルあたりだと、果物 70%ぐらい、その他、葉っぱ、花を 30%ぐらい食べる。それからカニザルになりますと、果実を 40%、残りの 50%ぐらいを葉っぱでまかなっている。

こういうものを見てみますと、ものすごくビタミンCが豊富、ビタミンCだけではなくて、ミネラルが豊富。我々の祖先というのは非常に、こういう段階から、つい最近に至るまで、ほんとうにベジタリアンでありまして、ビタミンCを食物から摂るということは、もう当たり前のことでした。だからこんなもの我々は合成する必要がありませんから、それまで持っていた遺伝子が無用になってしまったわけです。

もう一つは、これはちょっとおもしろいのでお話しておきますが、この二つのサルの違いは、こちらのほうが果実をたくさん摂るのです。脳容量は、果実をたくさん食べるほうが、体重はほとんど同じなのにも関わらず、2倍ぐらい大きい。

というのは、熱帯雨林に棲んでいるわけですが、熱帯雨林の中といえども、直接果実を手に入れるには相当な行動と、それから相当の記憶と、相当の視覚を持っていないといけないので、どうもそういう食物の探索行動と脳の相関がある、そういう意味であります。

それから当然、繊維質の量から言いますと果実は、葉っぱや花に比べると少ないので、腸は短くなって行きます。ですから何も遺伝子だけではなく、我々の身体は何を食べてきたかによって、相当変化しているということがおわかりになると思います。

それではヒトで、特別になくなった遺伝子のお話をしたいと思います。これは今年7月ぐらいにチャドで見つかった人類最古の頭骨です。600万年ぐらい前の人骨だと言われています。頑強にみえますが、明かにチンパンジーと違うと言われています。

ヒトとチンパンジーが分かれたのは、だいたい600万年ぐらい前、東アフリカで起こっ



たというふうに言われておりますが、その後の進化の過程を見てみますと、ヒトではある形質、例えば顔のつくりが、こういうふうになっているのが、だんだん平坦になってくる。チンパンジーにも同じように時間は経っているのですが、形質の変化は少なかったようです。ただ分子レベルで見れば、どちらも同じぐらいのゲノムの変化を持っているわけです。

一つ、ヒトだけで起こった変化があるかという問題を考えてみます。ヒトがヒトになるために創造した遺伝子は、現在も一つも見つかっていません。ですから何か新しい遺伝子機能を獲得したからヒトになったのではありません。ところが、ヒトだけで退化した遺伝子があります。チンパンジー、ゴリラ、オランウータンは持っているのに、ヒトではそれがもうなくなった、死んでしまった、そういう遺伝子があります。

その一つの例が、タンパク質を、糖で修飾する、グリコシレーションといますが、その糖には二つのタイプがあります。この糖のことをノイラミン酸と言いますが、ノイラミン酸にはアセチル体とグリコリル体があります。アセチル体をグリコリル体にするには水酸化酵素が必要ですが、この遺伝子をヒト以外は全部持っています。ところが、ヒトはそれがないので、ヒトはこのグリコリル体をつくることができません。

なぜそんなことが起こったかという、これはその遺伝子の構造ですが、非常に大事な遺伝情報をコードしている部分がありまして、その部分に、先ほどちょっと申しあげました、分散型の身勝手な DNA が、ここへ入り込む隙に、これを飛ばしてしまいました。そのためにヒトの場合は不完全な遺伝子になって、機能を失ってしまったというわけです。

それが起こった時期がいつごろかということ調べることができます。我々は三つぐらいやったのですが、まずネアンデルタールの骨から。ネアンデルタールがグリコリル体を持っているかどうかを調べました。グリコリル体を持っていれば、水酸化酵素も持つので、もしそうだとすれば、遺伝子が死んだ人というのは非常に最近だということになるわけです。

ところが見てみますと、ネアンデルタールと我々はまったく同じです。ですからこの遺伝子が死んだのは、ネアンデルタールとヒトの祖先とが分かれるより前ですので、50 万年、60 万年前よりも以前だったと思われまます。

さらに、そのことを裏付けるために別の方法で、いつごろだったかを推定してみますと、だいたい 300 万年ぐらい前になるということになりました。

ヒトの進化でいったい、そのころ何が起こったかということですが、それは 600 万年前にチンパンジーと分かれて、化石人類もたくさん出てまいりますけれども、こういう化石人類の脳容量はチンパンジーとほとんど変わりません。これは猿人と呼ばれる段階です。

ところが 300 万年から 200 万年ぐらい前、ハビリスと呼ばれている我々との違いが少な

い、ほんとうのホモが出てくる時期ですが、そのころになると脳容量が2倍ぐらいに跳ね上がるという時期があります。750ccというのがヒト、ホモというふうと呼ぶのが一つの基準ですので、だいたいこのあたりで人類の進化が、ルビコンを渡ったというふうに、人類学者は言います。

申しあげたかったのは、先ほどの水酸化酵素の遺伝子の退化が、ちょうど脳容量がエクスパンドするあたりで起こっているということです。200万年前になりますと、人類はアフリカでずっといたわけですがけれども、初めてアフリカを脱出してアジア、それからヨーロッパに行き着く。180万年前には既にジャワ島に到着しておりますので、この200万年間というのは、いわば地球上をさまよい歩いていたわけですから、それと共に大変新しい、アフリカとは違った環境に人類の祖先はエクスポーズされたということでもあります。

そういう状態を経て人類は進化したのですけれども、ほとんどのブランチは絶滅していきます。たった一つだけ生き残ったブランチがあって、それがホモ・サピエンスだと呼ばれているもので、いまから10万年ぐらい前に生まれたと言われていています。

ですから人類の歴史、これだけで何も大きなことは言えませんけれども、以後、人類は大成功するわけですがけれども、これまでの歴史を見てみますと、極めて軟弱、脆弱な、弱々しい生物だと。科学技術がなければ、もうとっくの昔に絶滅しているような生物です。

最後に、環境とゲノムとの関係について一言述べます。環境というものが、やはり一つのドライビングフォースになっていて、生物はそれに向かってゲノムを変えながら、その歴史を歩んできている。ですからそれを突然変えるといったいどういうことになるかということの事例です。

これは南極海の魚です。南極海はマイナス1.9℃ぐらいになりますので、何もしなければ身体が凍ってしまいます。それをプリベントするために、こういう魚は、ある遺伝子をリクルートしまして、アンチフリーズタンパクというものをつくって、体液の氷点を降下させています。ですからマイナス2℃ぐらいになっても体液が凍らないように、こういうものをつくっている。

このような一種の極限環境に生物は応えて新しい遺伝子をつくって、まったく生態学的に言えば、新しい生態学的空間に適応していったことができます。

現在、南極海では、これはノトセニアが大成功しているのです。ノトセニアというのはスズキの仲間です。種の数でいうと50%ぐらいこの仲間ですし、バイオマスで見ますと90%以上がこの魚です。

ところが、この極限環境が新しい遺伝子をつくった反面、ここにコオリウオと呼ばれている魚がいます。これは実は身が白いのです。身が白い魚はいっぱいいますけれども、見

ていただくと非常に透明性が高い。これはなぜかという、この魚はヘモグロビンを持っていないからです。赤血球もありません。ですから、体液に赤の要素がまったくないわけです。

ヘモグロビンをご存じのとおり、酸素を運ぶときに不可欠なタンパク質でありまして、脊椎動物が生まれるよりもずっと以前からできている、大変古くて大事な遺伝子です。ですからヘモグロビンを持たない脊椎動物なんて前代未聞のことです。

なぜそんな極端なことが起こったかといいますと、南極海では、要するに、ヘモグロビンあるいは赤血球があると、粘性が高くなるので、血液がうまく循環しない。だからむしろ赤血球の数を減らしたほうが良いということがまず一つの理由です。それから低温ですので、酸素の溶解度が非常に高い。ですから、わざわざヘモグロビンを使って身体中に酸素を運ぶなどということは、元々やらなくていいという状態にある。そのために、脊椎動物すべてが持っているヘモグロビンの遺伝子が、この魚から消え去ってしまったのです。だいたいこれが起こったのは、やはり 200 万年ぐらいの期間だと言われております。

全体を見ますと、最初に申しあげましたように、原核生物によるゲノムというのは小さくて、だんだん大きくなって、現在、ヒトでは 36 億ぐらいの DNA がある。その中には遺伝子があるわけですけども、その遺伝子数には大した変わりはない。

ただ、こういうふうにゲノムが増加したときには、遺伝子数もそのまま増加して分化して行くと思われるのですが、先ほども言ったように、我々ヒトに至る系列では、つくられるよりは、むしろ死なせるというケースが非常に多いのです。

要するに、こういうことが環境によって起りうるとしますと、ゲノムは増えたのですが、遺伝子の数は少ない状態から一旦増えて、減りだしていきます。減りだして遺伝子数が少なくなる、遺伝子が退化することによって、生物の進化は起こっている可能性があります。

なぜそんなことが起こり得るのかということが実は大事なポイントであります。それは自分だけではそういうことはできませんので、共生のときに申しあげましたように、周りに自分と違った生物がいて、自分に必要なものをつくってくれる。そういうほんとうにトレードオフというか、そういうやり取りがあって初めて可能なことなのですね。

どのようにしてこうした機会がつくられるのか、ヒトを含めてですが、何によってこういうことができるのかというと、生物間のお互いの関係性が非常に強いからです。共に進化しているからです。そういう平等関係が非常に強い。勝手にやっているのなら、勝手に遺伝子を増やして、ゲノムも増やしていけばいいのです。そうではなくて、むしろ減っているということは、お互いがお互いを支え合いながら、補完しながら進化しているというのが、特に高等生物で言えることではないかというふうに思います。

もしそうだとすると、現在人間がやっています、生物多様性の衰退と、あるいは環境問題、全般的なことですが、それはいままで、我々もつい最近まで祖先が経験していた環境

とはまったく違う環境をつくり出そうとしております。そういう状態にある私たちが、文化、科学技術の力なくしては、何が起こるかは、これは絶滅しかないわけです。

サイエンスが今後、どう使われるのかわかりませんが、ゲノムという観点から言うと、大変な状況にあると言わざるを得ないと思います。

○廣田 ありがとうございます。

どうぞ何か質問とか。

○佐藤 よろしいですか。例えば共生関係ができていて、どちらが先かみたいなことですね。共生関係ができたから何かが退化してサバイバルできたから、子孫に継がれ、だんだん、そういう傾向に移行するわけですね。戦略があって関係を求めるのか、関係の中で戦略が出来る。どちらが先ですか。

○高畑 それは関係が先だと思います。ゲノムが後です。

○佐藤 そうか。だから不必要になったから、そっちへずれたときに、ずれたやつも生き延びたということでしょうか。

○高畑 はい。そういう関係では、いままで必要だったものが無用になっているわけです。むしろ無用というか、つくらないほうが効率がいい。1人がやってくれればすむことを、また自分がやる必要はありませんので。むしろそのほうがいいのであって。

○佐藤 それと、さっきの、だから外れやすいというか、僕は組み換えが起こるときに、例えば色盲の話ですが、並んだときにこうなりやすいとかいう、物理的というか化学的というかエネルギー的というか、そういう部分が移動しやすいということはあるんですか。それとも何かまったく均一なのですか。

○高畑 いまの先生のご質問にきちんとすぐに答えられる分子生物学者はいないと思います。つまり、組み換えという現象は非常によく観察されているのですけれども、それがどういうメカニズムで、どういう分子が関係して起こっているかということは、まだよくわかっていないのです。

ただ基本的なことは、ゲノムの組み換えに関して一様でないということだけは、はっきりしています。だから、あるところでは組み換えをしつこくやります。めちゃくちゃそこでは頻繁に起こるのですけれども、別のところは何も起こらない。そういうめりはりがゲノムの中では付いています。

○佐藤 ただそこを単に原子、分子的なことで説明がいくのかどうなのかというのもわかっていないのですか。

○高畑 一次配列が関係していると、つまり、特別なインフォメーションを受信するのに必要な装置があるのですね。そういうものがあるのではないかというふうに言われているのです。これは例えば大腸菌では実際あるのです。

ところが高等生物になりますと、組み換えのスポットと一次配列との関係性というのは、まったく出ていません。ですから一次配列のことではなくて、もっと染色体の高次構造みたいなものが重要ではないかと、私は思っております。

○佐藤 学術会議の吉田委員会で、吉田さんは生き物の中のその情報は文字のようなもので、物理、化学とは関係ない、原子、分子的なのは全然関係ないと言うから、いや、関係あるかどうか、まだわからないじゃないかと僕は言っているんだけど。

○廣田 そんなことはないと思いますけれども。やっぱり関係があるのではなからうかと。

○高畑 やはり分子がDNAにくっ付いていることはあると思うんですね。だから、その分子の挙動が組み換えなどに多分に関係していますので、先生のおっしゃるような意味合いで物理化学の世界まで戻ってバイオを考える時代は、そのうち必ず来ると思います。来ているかもしれません。

○永井 マウスなんかそうですね。

○永井 関係性、特に共生関係が非常に重要だというお考え、私もその関係性ということには関心をもっていますので、心強く感じたのですが、今日のお話では出てこなかったのですが、水性生物の細胞内の中に入り込んだとされている細菌細胞。

○高畑 ミトコンドリアですか。

○永井 ミトコンドリアと水生生物の細胞本体との共生関係が、遺伝子レベルで説明が付くのでしょうか。

○高畑 ミトコンドリアの入り込んだ時期というのは、ブフネラがアリマキに入り込んだ時期よりずっと昔になりますが、ミトコンドリアに関するそういう共生関係は起こったと言われております。

一つは、ブフネラとアブラムシで起こっているように、お互いの持っているものは、二重にあるものはなくしていくということ。もう一つは、寄性しているほうのゲノムがホストのほうへトランスファーされて、自分はものすごく身軽になっているということがあります。

ブフネラも多分そうで、これは原核生物として2番目に小さいゲノムしか持っていません。大腸菌が実は一番近いというふうに思っていたらいいわけですが、大腸菌はけっこう大きなゲノムを持っていて、5メガ近いのですけれども、ブフネラの遺伝子は

0.6メガしかないので、4メガはもうなくなっているのです。これは2億年ぐらいの間にそういうことが起こったと考えられます。一つは、余分なものを全部捨てているのか、もう一つは、そのうちの一部はもうアブラムシのゲノムの中へ入り込んでいる可能性があって、もうじきミトコンドリアになるのではないかという状態です。

○永井 ミトコンドリア、それ自身は独自のDNAを持っているわけでしょう。

○高畑 はい、そうです。

○永井 それがあって、かつ細胞の発電所と呼ばれるようなエネルギー産出機能を発揮するとすれば、そのDNAそれ自身というのは、そんなに頻繁に失われてはいないのではないのでしょうか。

○高畑 ええ、そうです。ミトコンドリア自身が、おっしゃったように、エネルギー産生が非常に大事ですね。ただミトコンドリアは、ゲノムから来ているタンパク質が、そのうちの何%あるかという、これは10%ないわけです。残りの9割以上はホストのほうから来て、つくっている。

ですからみなさんが考えているのは、多分そういうものは元々、エネルギー産生をするミトコンドリアのゲノムにあって、それがどんどんホストのほうに移ってしまったというふうに言われています。

○永井 機能が縮小というのは、にわかに信じがたいですね。

○高畑 機能が縮小しているかどうかはわかりません。

○?? いまのことは私もうかがおうと思っていたのですが、98%の無駄、人間が無駄の動物、これは無駄と言い切っているのかですね。現在の時点で何か原因がわからないから、そういうことで。今後どういうふうになって行くのか、なくなって行くのか、そのへんはいかがなのでしょう。

○高畑 この44%というのは、いわば勝手にコピーを増やすDNA配列の親であったり、残骸であったりしています。ただし、こういうものがまったくゲノムの変化に寄与しなかったかという、そうではなくて、一つは、遺伝子発現に関与している可能性があると言われていています。アルーという配列は、ある遺伝子の近くにあると、その遺伝子の発現を増加させるというような機能があるということが言われています。

ですけれども、ほとんどが、つまり遺伝子の近くではなくて、いわば砂漠の中に落ちていますので、そういうものが何か役割をしているかという、おそらく何もない。

では、元々の砂漠はいったいどうやってできたかという、私の考えでは、ひとたびできると元には戻らないからだと。これからの課題というのは、シークエンスは決まっていますけれども、ここの部分は何をやっているかというのがわかりませんので、それをやら

ないと新しい薬もできません。そういうところは今後の取り組みとして残されています。

○北川 人間と環境との関係では共生関係は壊されている面がありますが、ゲノムや遺伝子の共生関係のお話は示唆的でした。この世界では共生関係はそうなってきたという自然の過程だけで、ある酵素がなくなったり遺伝子が退化したのはその結果なのですが、こういう過程はどの程度科学として予測ができるのでしょうか。

○高畑 できるだけそこを予測したい。1つ、直接。

○北川 長期間にわたる目に見えない変化の過程ですが、その変化は科学でどこまでつかめるのでしょうか。どこからが科学者の推測なり解釈なのでしょうか。

○高畑 どうしてこうかはわかりませんが、そういう状態に何万年か、何百万年かかって、我々はこちらまで来た。そういう歴史的な存在であるということははっきりしていますね。

そうすると、それはいったいどういう関係で、その変化が起こったのだという原因がわかれば、ここここは切ってはいけないということは、言えるようになるのではないのでしょうか。

○北川 現在、医療として遺伝子診断が問題になっています。ここでのお話とつながる問題として、マイクロレベルのゲノムや遺伝子、DNA研究にともなうリスクについて関心があります。長期間にわたる変化の過程では、そうしたマイクロ生物体に生じた「イレギュラー」はなるようになっていくのでその結果が現在であるという科学的分析の対象です。しかし、今はバイオテクノロジーが同じようなイレギュラーをつくり出しています。これは科学技術に伴うリスクの問題です。ひょっとして、このようなリスク問題は、自然界で長期間にわたり推移する生物の共生関係はリスクの別の面かも知れません。それはそれとして、現在のバイオテクノロジーには自然過程ではないリスク問題があります。今日の共生関係から人間や環境に視点を移されるさいに、この技術に伴うリスク面はどうお考えでしょうか。

○高畑 知らない部分もたくさんありますので、我々としては暗夜飛行しないで、むしろやっぱり、やる前に、これは危険かもしれないという、その覚悟をすべきだと思うんですね。

○永井 さっきのミトコンドリアのこととも関係することかもしれないのですが、地球上の酸素をつくりだす植物ができた。それと、ミトコンドリアとの関係はどうなのでしょう。それともう一つは、酸素をよりよく使うようになったときに、同時に反応性に富む酸素ラジカルも発生することになった。そこらへんの関係について、先生のお考えをお聞きしたい。

○高畑 先生のおっしゃったのは、30億年ほど前に地球上でシアノバクテリアが原因ですけれど、嫌気性から好気性に移りますね。これは生物にとっては大大環境変動で、この

ころの生物にとっては大チャレンジだったと、私は思います。

ほとんどは絶滅の運命になる。ただその中で、いくつかはそれをうまく利用する機能を持っていた。たとえば、コラーゲンの合成です。それでコラーゲンがないと靭帯とかができませんので、頑丈な身体をつくることができないのです。

それは、ある生物がコラーゲンをつくるリシルオキシダーゼのような遺伝子を発明したことによるんですね。だからほとんどの環境の大変動は生物の絶滅をもたらすのですが、ほんの一部の生き残りが、それをうまく利用して、何か新しいイノベーションをやっているということではないかと思えますね。

もう一つ、活性酸素との関係ですが、活動すると活性酸素とか、窒素等のラジカルができますね。それを中和するのに必要なのはビタミンCですね。ビタミンCを相当摂らないといけません。抗酸化作用が非常に高いので、ビタミンC合成酵素遺伝子はまだ潰さないほうがよかったのではないかと思うんですね。それにも増してたくさん、多分外から摂っていたので間に合ったと。

ところが寿命が長くなりだしたころは、実はその部分が足りなくなっていたのではないかと、私は思うのです。そのとき起った一つの変化があります。尿酸をさらに分解することをやめるようになりました。尿酸はアデニンとかグアニンといったプリン体にある窒素の代謝産物です。

最終的には、アラントインとか、アンモニアとか、そういうものに分解してしまうわけです。そこにいろんな遺伝子が関与してくるのですけれども、尿酸の分解をやめてしまう。やめた理由は、その下で働くべき遺伝子が潰れたからなんです。これはオランウータンなんかの祖先では、全部潰れています。

ちょうどそれは類人猿で寿命が長くなっていく時期と合って、その尿酸を、私たちの祖先は身体にたくさん溜めるようになった。ただしそのために、いま痛風に悩む人が増えました。8ミリグラム増えると結晶がここへ溜まりやすくなりますので。

だけど尿酸は、ビタミンCと同じぐらい抗酸化作用が強くて、活性酸素の除去に非常に役立っている。そういう変化も長寿命化の過程では起こっているわけです。

○廣田 脳ほどもものすごい酸素を使う部分はありませんよね。だけど脳がある時期大きくなったという、そういう何か関係がありますか、酸素を使う。

○高畑 それはわからないのですが、実はこの遺伝子は、霊長類では全身に発現されている。ただし脳だけが除去されている。生きている遺伝子で全身に出る場合、脳でも出てい



いはずなのですけれども、なぜか脳は、これをつくらないで、こちらばかりつくる。

ですからまだ推測なのですけれども、わざわざ抑制しないとイケないものを、生きたまま保っているのはよくないので潰してしまえと。潰れた結果、抑制という余分な行為がヒトではしなくてすむようになったために、脳の増加が増長されたのではないかと推測しています。

○濱口 さっきの全体で、それで立ち上がった直後はどのへんですか。

○高畑 600万年にはおそらくもう二足歩行をしていただろうと。ただ長時間歩けるかどうかわかりませんが、このへんぐらい。

○佐藤 そのHが付いたところのギャップというのは、それは主なのは何だったんですか。

○高畑 この時代から出てくる化石がたくさんあります。その脳容量を見ると、幅があって600から800ぐらいまで。

○佐藤 そのお話でもいいんですが、そのへんからぐっと立ち上がってるが、何がそこを持ち上げたのか？

○高畑 そうですね。それがほんとうに言えればいいのですが。

○佐藤 はっきりはわかっていなくても、どんな説があったとか。

○高畑 火を使うのは、このへんです。石を使うのはこのへんです。

○佐藤 手でやった。

○高畑 繊細な石器を使い出すのは、このあたりです。

○佐藤 さっきのは結果かもしれませんね。

○高畑 ええ、結果かもしれません。ですけど手を使うこと自体、やはり頭への振動があるということで、もしかしたら相互作用があるかもしれませんね。

○佐藤 私、この前もちょっと言いましたが、「光と風景の物理」という教科書を最近書いたのですが、視力とか、そういうことにちょっと興味がある。例えば今日の日でも、白黒の2色でも、識別可能の一番暗い限界はちょうど新月の晩の明るさと一致しているのです。

暗いといってもいくらでも暗いのがありますから、どれぐらいまで見えるように人間の目をセットしてあるかということ、ちょうどこの自然の戸外の明るさと合っている。興味しんしんです。

こういう研究はあるんですか、いま色の認識というのが非常におもしろいけども、距離、視力というか、何メートル先まで個体が識別できるかという能力というのも、何かさっきのお話からだ、獲物を見つけるとか、何かそういうのと、ある時代の必要だった行動と結び付いているのだと思うのですね。

物理的に言うと、空気の透明度の限界とか何とかはもうちょっと長いし、地球の丸さが、見える限界もまだまだ大きい。だけど人間の目は適度な、中途半端な距離の識別限度になっている。そういうのが何で決まってきたかということです。それと他の動物はどうなっているのかとか。イヌは100メートル先の1メートルの竿を認識できるのだとか何か、そういう研究成果のデータはあるのですか？

○鴨下　しかし仮に、眼科医として言えば、普段のときはレンズが薄くなっていて、それが近くになると、ふくらんで見る。本来的には遠くを、老眼のように遠くはちゃんと見えるようになっていないかと思うのですけどね。

ガラスのレンズが何も収縮しないで、だらっとしているときは遠くを見ているのだけでも。そのときに、どの程度遠くを観察できるかという問題ですね。

○佐藤　確かに、読書のようなこんなに近くにきて、やることはないわけだから、確かにそのほうが何か緊張をかけているわけですね。だから原始人はもう少し遠いところをわりあい見て暮らしていたというか。だから、どの程度遠くにまで興味を持っていた。生存、生活と関係していたような気がする。

○高畑　人類学の研究になるかもしれませんね。

○北川　目に像がすぐに結ばれるのではなくて、脳が情報を処理して像が目に見えるのだということを読んだことがあります。いまの話で、遠くを見るにしても何にしても、動物が見る見方と人間が見る見方と違うかもしれませんね。違うとすると、その相違は人や動物の視覚が選別をしているわけですが、その情報処理の選別基準とゲノムとの関係は興味がありますね。

○佐藤　物理的なシグナルとは全然違うのを、また脳の部分で何を取り出しているかという。

○北川　目に結ぶ像が動物によって違うかもしれませんし、さらには人によっても違いがあるでしょうね。

○佐藤　それと風土ではないけども、山が見えるところとか、雲がある景色とか、まったくの仮定だが、もっと昔の人間はみていた。雲がきれいだとか、あの日が沈むときの荘厳さを覚えるとか、そういう美や崇高といった価値的なものの起源にはわりあい風景的なものが影響していたのではないかなという気がする。それはまったく根拠がないけどね。

だって原始人は、だいたいみんな外で暮らしていたわけだから。芸術作品もないわけなのに美の意識が生まれたのは、わりあい風景の中からもぎ取ってきたのではないかと。

(テープ反転)

○佐藤 風景は日によって違いますね、富士山が見えたり、見えなかったりするのです。乾燥してれば100キロだが、日本みたいな風土のところは、モンスーン地帯とかでは、ぐっと数10キロの範囲で変動する。景色は絶えず変化するわけです。だから、絶えず変化するものの中にいるのと、岩山ががきがきとあって、もう何千年昔から一緒みたいなどころを見て生活しているのとでは、人間の考え方は違ってくるのではないかと。そんなことをいろいろ考えてきますね。

○高畑 人類がグループをつくって行動するようになりますね。先ほどの質問ですと、このころからやはり社会性といった、家族契約みたいなものが出てくる、女性との。そういうこととか分業みたいなことが、このころから発達してくるわけですね。

ただそういうグループは200人をこえない。最大200人。それがどうしてかというのは、人類学者のテーマみたいなもので。やはり直接コミュニケーションできないとグループとして成り立たないと。その最大値がどうも200ぐらいだということですね。

○廣田 どうもありがとうございました。高畑さん話を聴いていると、いつも思うんだけど、人間というのはよく生き延びてきたんだなど。何か何世紀も綱渡りみたいな感じがしますよね。

○高畑 そうです。私の説に木村資生という人が言ったことは、我々の存在というか、どの生物もそうですけど、富くじを百万回を立て続けに引き当てたような存在だと。それぐらいラッキーな存在だと。

○廣田 ですから、いまみたいなことをやっていると、すぐ転げ落ちるような危険性もいつも持っている。最近特にそういうふうな感じを持ちますけれども。

ほんとうにありがとうございました。もう10分ぐらいよろしいですか。永井先生が席をお立ちになるまで、ちょっと最後にまとはできないのですけれども、そのへんはお許しいただきたいのですが。

第1回のときに梅原先生に来ていただいて、共生と循環というキャッチフレーズをいただきました。そんなことだけしか覚えていないのでは梅原先生に申しわけないのですが。

そういうことで最近、いろんな方が、いろんな取り組みを、されるようになってきたと思います。鴨下先生が一番最初に紹介されましたように、サステナブル・デベロップメントなどということ、外国の方が言われるようになりましたし。学術会議でもいまの18期に「日本の計画」というプロジェクトを作って、一生懸命努力しています。佐藤先生もそのチームの中に入っておられますから、あまり悪口を言ったら申しわけないのですが、

どうもこのサステナブル・デベロップメントから、あまり外れないぐらいの枠組みでやっておられるようです。プロジェクトの現状はちょっとひっくり返しになっておりまして、デベロップメントを保障するというか、実現させるためのサステナビリティは何かというのが、一つの柱になっています。ちょっと変ですけども。

それともう一つの柱は情報循環。これがまたよくわけのわからない標語になっておりますが。佐藤先生のお話で、情報というのは時間的にどンドン一方的に進むのだということから、情報循環というのは、それと真っ向から対立する変な考え方になっていると思えますけれども。学会会議も、そういうふうなことをやるような情勢です。

第1回目のときに猪木先生が、経済学における最近の動向をお話になられまして、進歩と進化ということをや、やはり区別するようになってきたと。進歩は量的拡大と申しますか、富を一次的に拡張するというので、これまでやってきた路線だけど、そういうのはもう行き詰まりだという認識がだんだん出てきて、その次はやはり進化、それにダイバーシティだとおっしゃっていたのですが、そういう動向を何とかして、経済学説というか、経済体制というか、そういうものを構築しなければいけないということで活動が始まっているが、まだ先が見えていないという、そういった趣旨のお話をされました。私は第2回目には、もう少しその活動の内容をおうかがいしたいと思って期待していたのですが、ちょっとおいでいただけなくて、大変残念でした。

先生方のすべてがそうなのですが、私どもはやはり大学、あるいはそれに準じた研究所で生活を送ってきたわけで、我々としてはこういう進歩主義の問題に関して、やはり学術の面、北川先生のお言葉ですと、学問の面から、何かコントリビュートすべきではないかというふうに、私は思っております。

このフォーラムをやらせていただいたのも、いろんな分野の先生方からいろいろな見方、考え方をお教えいただいて、何か学術の流れとして、そういうものをつくっていけないかどうかという、そういう期待感がございました。

私は、よく縦糸、横糸という比喩が好きで、そういう言葉を使うのですけれども。永井先生も前回、生物学での縦糸と横糸ということをお使いになってので、同じような発想をしておられるのだなという印象を強く持ったわけでございますが。

これまで、私は化学にたずさわってきましたが、化学とか、佐藤先生の物理学とか、そういう学問は伝統的なディシプリンがあり、わりあいがちりできあがっていると思っております。それはもちろんそれで一層しっかりした縦糸をつくっていかねばいけないのですけれども、最近は横糸というべきものを、卑属な比喩で申しわけないのですが、そういったものをつくらなくてはいけないということが、社会的に要請されてきているというふうに思っております。

現在は総合科学技術会議になっておりますが、私はその前身であります科学技術会議に最後の2年間、政策委員として参加いたしまして、国の4重点分野策定のときに、及ばずながら参画したわけですが、すなわち、ライフサイエンス、環境、IT、ナノテクが国としての4重要分野になっております。このようなものは科学技術会議が意図的につくったのですけれども、やはり世の中の要請の反映でありまして、非常に穴の多い学術政策だとは思いますが、それなりの理由のあることです。

例えば環境というのを一つ採りましても、これはおそらく1970年ころからの公害問題に端を発してでてきたもので、それより前はこんな問題は、したがってそれに対するまとまった対応、発想まったくなかったのではないかというふうに思っております。

科研費などでも、いわゆる特定研究、重点研究からいま特定研究に戻ったのですね。ここでも、たとえば「大気科学」といったようなプログラムが走っております。私もその評価委員といいますか、推進委員というのか、お目付役で、そういう班に入れられているのですけれども。

ところがその内容が依然として縦割りで、ほとんどの班員がみな及び腰でやっているものですから、なかなか有効な研究班にならないのですけど。それでも、こういったものを積極的にやっというのは、新しい学問の流れに対応するための一つの現れかなというふうに思っております。

ITは、これはちょっとテクノロジーでどうもしようがないのですが、情報科学というのが学問的にあるのかどうか、私は、まだこれは非常に未熟な領域ではないかというふうに思っています。

ナノテクといえば、物理学の物性論とか化学は元々だいたいナノテクの基礎学問ですから、あまり学術的にはそう新しいことではない。もちろん技術的な面では非常に発展しつつあるとは思いますが。

ライフサイエンスは、これはもう永井先生、高畑先生がおられますから、釈迦に説法でございすけれども、私はこれからのライフサイエンスというのは、やはり横糸が非常にますます重要になるというふうに認識しております。今年ノーベル化学賞をもらった田中耕一さんですか、彼は電子工学の出身で化学賞をもらったけれども、実際はライフサイエンスの方で成果を挙げられたわけです。そういうことで、私は科学技術会議のときに、方法論の開発というのは非常に重要だということを何度も主張したのですが、あまり聴いてもらえませんでした、当時は。しかし、田中さんのノーベル賞、さすがにノーベル委員会だと思って、日本の科学技術会議よりはるかにちゃんと目が高いというふうに思っております。

そういうことをいろいろと考え合わせますと、これから学術に携わる者、学問に携わる者のやるべきことは、やはり横系だと思います。縦系をしっかりやるということは、これはもう言うまでもないのでございますが、そういうものを踏まえた上で横系をしっかり張ると、これが重要だと思っています。しかし、そのための方法論はまだまだで、私は、ほんとうのところ誰も手探りの状態ではないかというふうに思っております。

そのためには、北川先生、濱口先生、猪木先生などがやっていらっしゃる人文学や社会科学との協調というか、学問の総合化というのは不可欠なのですね。結局、やはり学問、サイエンスというのは人間の学問であるべきであって、結局、この横系というのは、人間のほんとうのところ学術がもっと近づいていかななくてはいけないという、その一つの現れではないかと思っています。

高畑先生などは非常に羨ましくて、やっていらっしゃることで自体が正に人間そのものに深く関わっているわけです。そのような観点を今後、ますます深めて、学術をより一層、人間のための学術にすべきではなかと。非常に些細で卑属な結論になってしまうのですが、そういうところへ持っていくのが、やはり進歩主義の後継ぎではないかと。

私は後継ぎというのは、まったくのリプレースメントではなくて、一種発展的に構築していくものではないかと思っています。いまのところやはり横系に期待すると申しますか、それをいかに張るかということをもっとこういったフォーラムなどの機会を通じて盛り上げていきたい。高等研も今後とも大いに活躍されることを期待しております。

ほんとうにお忙しいところ、2回にわたって長時間お付き合いいただきまして、ありがとうございました。現在ではそういうことで、まだまとめというようなことは、とてもできないのでございますが、出発点を模索しているというような段階です。ほんとうにありがとうございました。

この2回目も前回同様、高等研にお願いして録音テープから起こして記録にまとめさせていただきます、また先生方に校正をお願いしたいと思っています。その上で、1, 2回分をまとめて何らかの形で印刷していただくようお願いしようと思っています。

どうもほんとうにありがとうございました。

先生方に、私の雑文をお配りしたかと思いますが、これは日本学術振興会の産学官の連携委員会（プラズマ材料科学第153委員会）で、昨年話をさせていただいたときの記録です。本日の課題にちょっと関係がございますので、私の考えをお伝えしたく、コピーを配布させていただきました。

(全終了)