自然現象と計算論との整合性

独立行政法人　情報通信研究機構
株式会社　カオスウェア
梅野　健

―――　はじめに、組織した経緯とどういうことをやりたいと考えていたかということを聞きたいと思います。

梅　野　最初のメンバーは物理出身の人が多く、例えば私は統計物理の研究室に所属していました。テーマとしては、解ける問題と解けない問題というのが自然現象の中にいろいろとあり、それは数式では一見同じようなかたちで記述されていますが、一方は解けないのですが、他方は解ける。例えば、解ける問題のクラスの中にソリトンというのがあり、解けないものの問題の中にカオスとかいうのがある。そのような現象に興味を持ったというのが私自身の研究の始まりです。

―――　ここで「解ける」「解けない」というのは、数学的な意味で可積分系・非可積分系という意味であって、解けるというのは可積分系であり、非可積分系というのは解けないということですね。

梅　野　はい、可積分系、非可積分系を指します。ただ、数学的な意味で解けるか解けないかだけではなくて、ソリトンのように偏微分方程式で表れるような問題を計算機で解かせようとするときに、差分化を考えます。時間も離散化します。そのとき、どうもオリジナルが可積分な系であるとうまく差分化でき、計算機上でもレギュラーな振る舞いが見て取れる。一方、もともとの系がカオスだと、いくら計算機に乗せようとして差分化してもうまくいかないことが多い。

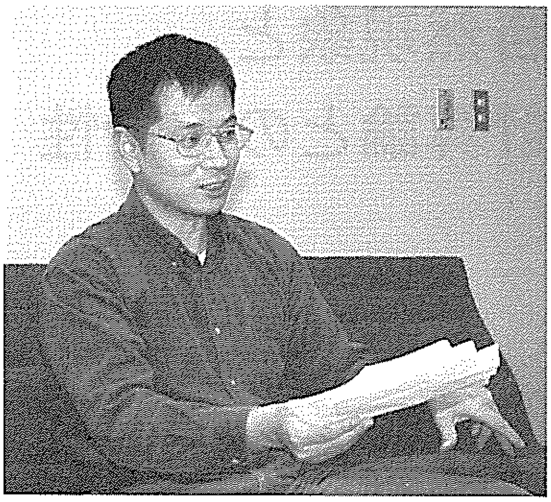
―――　うまくいかないというのは、収束の一様性は保てないということですか。例えば、普通、解析的に分からない場合、計算機を使います。その際、計算機で答えが出て、その結果を吟味するとき、収束がどうであるとか解の安定性であるとか、もうこれ以上メッシュを細分化しても答えは変わらないなどを確かめ、そのような場合に結果を得たと言いますが・・・。

梅　野　例えば、系がもともと持っていなければならない性質というのが、例えばハミルトン系であると、エネルギー保存法則と、あとシンプレクティック性などがありますが、それらは両立できません。

―――　両立しないのは分かりますが、例えばシンプレクティックなアルゴリズムというのは、位相体積はいつも保存させておくと、もちろんエネルギーはゆらぎますが、ある程度メッシュを細かくする方法でゆらぎをコントロールできても駄目ですか。

梅　野　ゆらぎをコントロールするためにメッシュを細かくしていくと、今度は時間がたいへんかかることになる。したがって、やはり解の性質が計算のしやすさなどを決めていると言えます。そこで、その問題については、佐藤（理化学研究所）、泰地（統計数理研究所から理化学研究所研に移っ

た）らと一緒にこのような問題を考え、力学系という枠組みの中で、力学系の可積分系や非可積分系と、加えて計算機に乗せたときの計算しやすさ — つまり計算可能性ということ — を議論しました。それを、一度は大きな枠組みで議論したいというので、それでこのような自然現象との整合性ということを考えました。



——— 出発点では力学系の可積分性に限られていましたが、自然現象と言い出すともっと話が広くなってきます。それはどういう方向に広くしようとしたのですか。

梅　野　広くとはいっても、まずは何らかの力学系で記述できるような、そのような自然現象をターゲットにしようということは考えていました。

——— 不思議に思うのは、物理学あるいは数理系の科学では、現象があったとすると、その現象はどのような法則性を持っているかということを見出し、それはある程度近似的な方程式でもって表そうとすることが、普通に行われます。したがってそれは、数学が持っている問題点というより、その式が正しいか否かということを問題とすると考えることができますね。

梅　野　その通りです。

——— ところが、このグループのシナリオによると、方程式というのがあって、計算をしようとすると答えが求まらない場合が出てくる。そのとき、それは正しく現象を記述してないから方程式として駄目だということにはならないのですか。法則を書いた書き方が悪かったということです。解けないということはそういうことにはならないのですか。

梅　野　いや、それは一部の例外的なことであったならそのようなケースがあるなということで、そう考えることで済ますこともできます。しかし、一般の方程式のクラスでも解けない問題がかなりあります。

——— 問題は自然現象と方程式の整合性だから、数学的にはいろいろな方程式があって、中には解けないのもあるけれども、それは自然現象にはマッチしてないと考えられませんか。例えば場の理論の場合、例えば中間子場の理論などは、計算していくと、繰り込み可能でない場合、答えが発散しますね。ところが、QCDの理論では、発散はするけれども繰り込みは可能だから、答えが得られますね。どちらも強い相互作用を記述する理論ですが、計算ができない理論は実は正しく自然を記述していない理論だと、むしろ私たちは考えるようなところがあります。

梅　野　それは、計算できる量だけに着目するからだと考えられます。つまり、例えば一般の三体問題や四体問題などの天体の運動は、ニュートン力学で十分記述できると考えられます。それでも、三体問題以上は解けないということがあります。ただし、例えば何らかの統計量を求めるといったような場合には、エルゴード性等を仮定して解ける場合があります。カオスというのも、統計的な性質は計算で分かります。セルオートマトンでは、シンプルな法則は与えています。ただ、与え方によっては、カオス的振る舞いになったり、予測不能になったりするケースもあります。やはり世の中には、一見、与えられた法則を見るとシンプルに見えて何の違いもないように見えますが、得られるアウトプットは、まったく問題なく解けるようなもののクラスと、ソリトンのようなクラスと、やっぱりカオス的なものと、あとまったく予測不可能なクラスというのに分けられます。

――― 解ける解けないのクラスに三つぐらいあるということですね。

梅 野 はい、そうです。

――― 解ける力学系と、それと非可積分系と言える積分のできない力学系と、それともう一つ、それ以上の系があるということですか。カオスといえども、誤差はコントロールできると考えられます。「リヤプノフ数がこれくらいだから、どれくらいの時間が経過したから、誤差はどれくらいの大きさに広がる。だから、そこでのコンディションを決め直してやりなさい」というような、制限付きのコントロールはできるわけです。しかし、予想もつかないときに予想もつかない程のジャンプがあったりする場合、統計的にしか分からないようなものがあるということですね。このグループで、梅野さんは力学系の立場でいろいろ、可積分系、非可積分系の研究を提案しているけれども、他の対象、例えば「解ける、解けない」ということ以外にも、その法則が数学で表せるような系なのか、数学で表せない系、例えばヒトの脳であるとかも関心があると思います。そのような分野の研究者もメンバーには入っていますね。

梅 野 はい。

――― 研究会では、進化アルゴリズムの話もあったし、DNA計算、量子計算機の話など、もっと多様ないろいろスペクトルがあったようですが。

梅 野 小グループの発端は、確かに、解けるところと、「解ける、解けない」と、計算可能かどうかという対応がありました。計算ということを考えると、自然現象を使って逆にその計算できるのかどうかも興味の対象になりました。

――― それともう一つ、私は最初このタイトルを見たときに、ある程度哲学性があるのかなと思っていました。自然現象というのは、何も計算をあてにして出てきたわけではなくて、厳然としてあるわけしょう。計算論というものは、ニュートン力学や、マクスウェル、シュレーディンガー方程式など、きちっとした運動方程式があると、その解き方とか、解の一般的な性質とかが問題になるわけです。自然現象を理想化して方程式を作り、その中で、どれだけ上手に解を探し出すという話がありますね。整合性というのは、その二つの、本当ならば、一方は抽象化したものと、一方は現実と、この二つの間に意味を付けようとしたわけです。そのあたりの説明をいただけませんか。

梅 野 計算論の発端のところに、「チャーチ=チューリング・テーゼ」というのがあります。それは、計算できる関数のクラスは帰納的関数でかけるクラスに等しいという仮説ですが、それをさらに物理学者のドイチェとかによって、物理的に観測可能なものは、計算可能なクラス、つまり、そのチャーチ=チューリング・テーゼに入るようなクラスかどうかということを問題にしたわけです。そのような問題意識というのは、97年ごろに、ある特殊な量子力学の、特殊な観測の仕方を構成すると、チャーチ・チューリング・テーゼに入らないようなものが出てくるということが知られます。実際に、そういうような物理的に観測可能なものと、計算可能性というのが実際にどのぐらい厳密に対応するかということは、一般的に調べるのは難しいので、具体例で何か言えないかというようなことを考えています。

――― 古典力学で計算可能性というと、三体問題で一つの粒子の座標Xと運動量Pをある時刻に与えたら、ある時間後にどこと予想できるかということで、それは計算不可能ですね。

梅 野 三体問題の場合には、不可能です。

――― ところが、量子力学の場には当然、原理的に不可能ですね。XとPを同時に与えることは。また、量子力学はそういうこと要求しないですね。量子力学が要求するのは、Xがこれくらいの範囲

のときにはPはどれくらいの範囲であるとか、Xの平均値がこれだけのときにはPの値はということです。それは量子力学でも計算可能です。そこでまた先程の問題に戻ると、古典力学が悪かっただけで、「だれだれのテーゼ」といったときに、テーゼは、ものが存在するならばそれには値があるはずだから、その値が自然法則に従っている限りにおいては正しい自然の記述をしているとするならば、正しい自然の記述、すなわち、計算可能性をいっていると考えてはいけないのですか。

梅　野　記述の仕方です。ステップ・バイ・ステップに構成できる計算可能性のクラスというのと、われわれが分かるということが、同じであるということです。

――― 解を構成論的に見つけるということですね。存在の定理というのはあるけれども、解を見つける法則というのがあるものは少ないですからね。可積分系なら、構成論的に、こういう計算をしたら解が与えられるのだということですね。

梅　野　そうです。そして差分化しても、解を再構成することは容易にできます。

――― 私が聞きたいのは、自然現象の中で計算不可能な系というのはどういう系で、それはなぜ不可能かということです。例えば、三体問題は先程、計算不可能な系だと言いましたね。なぜ不可能かということは分かりますか。

梅　野　私たちの認識としては、一般には計算は不可能であるけれども例外的に計算可能なものがあるということです。その例外的な場合に、われわれは解くことができる。

――― 不可能ということが一般的なことと思われているわけですか。

梅　野　そうです。

――― 普通、方程式を見ると、解を簡単に得られるようなものは、そんなにはなくて、一般には、与えられた方程式には適応範囲がある。量子力学で摂動計算をやり出すと、必ず中間状態に非常に小さいスケールとか大きいスケールの量まで要求するわけであって、そこの部分の積分が収束しているかどうかなどいうのは、本当は小さいスケールのこととか大きなスケールのことが分からないと分からない、ということです。自然が存在しているのに、計算が不可能というか、解が与えられない、われわれの手の届かない所にあるというのは、何か自然の外にもっと、自然をわれわれがコントロールできない要素があると考えるわけですか。

梅　野　いえ、自然の外にあるとは考えません。

――― それでは、自然というのは、われわれが計算できることはほんの少しだけだということですか。

梅　野　そうですね。

――― そのあたりは私の認識と、全然違う。通常、計算していくと近似的には解けるというものはいくつもあるはずです。多くの自然現象では方程式は近似的だと考えて与えるわけです。目に見えるものがこの方程式で記述されると予想します。しかし、これで良い、正しいと考えて、さらにその先を、そのスケール以外の所にも適応しようとすると、正しい結果が与えられないときがあります。そうすると、それは、その方程式が計算できないからではなくて、その方程式自体が近似的なものなので、適応範囲以外では答えが与えられなかったということになる。例えば摂動計算をやると、最低次である程度正しいと、摂動展開の収束性でもって、それは計算できるか否かが判断されます。自然を記述できるかどうかというのが、物理の法則を求める物理学者の問題であると考えているからです。そのように考えると、やはりそこでうまく摂動が収束しなくなると、記述に限度

があると考えます。

梅　野　それは、まったく無摂動の系が可積分系のようなものでスタートするという例の場合であると考えられますが。

――― 摂動の最低次としては当然解ける系から始めます。

梅　野　その場合、そのように摂動していくと、とんでもないことがいろいろと起こるというようなことが、月の運動などの古典力学でもあります。それは、やはり最初の出発点が間違っていたということです。解けないところから、摂動してどういう意味があるか分からないですが、解けなさというのはある程度、例えばちょっと係数を変えただけでも、解けなさというのはあまり変わらないということがあります。

――― 場の理論では、私の研究の方向が計算できるためには、法則はいかなるものであるべきかを問う旅だったわけですが、梅野さんの考え方は、力学の中には解ける部分と解けない部分があるということですね。

梅　野　そうです。解けないということはどういうことかが知りたいと考えています。

――― 私は、解けないということは、なぜ解けないのかという問題になってくると考えます。

梅　野　それは非常に難しい問題で、私も以前から引き続き興味を持っている問題です。解けないということは、計算機でやっても解けないのか、それとも計算機では解けるが、解析的に解けないのかという問題になってきます。多くの人は、ほぼ解けない問題を計算機を使ったシミュレーションで対処していますが、それは本当に正しいかという問題はよくあります。カオスの研究は、ほとんどシミュレーションで行っているので、それが正しいのかどうかということを考えなければならない。この問題は、まだベースがしっかりとしてない、つまりただやってみたという研究が多いのではないかと考えます。

――― カオスは解けないとしても計算機で解を追跡することはできます。しかも、きちっとしたルールに則っているから、その数値誤差をコントロールできるとするならば、どこの研究所でカオス研究をしても、同じ系を扱っている限りは同じ答えが出るということにおいては科学にはなっています。更に、そのような非常に複雑なカオスを結合させて、もっと複雑にしていくと、次に出てくるのは、エルゴード的なユニバーサルなゆらぎが出るようになり、統計力学的領域に入ると、解はユニバーサルになります。きわめて難しいものを合わせていくと、もっと難しくなるのではなくて、ある場合には非常に簡単になるのが統計力学系であり、さらに熱力学になるともっと簡単になります。

梅　野　その辺と、例えば計算機でどういう分布関数を、初期値でいろいろ変えてみてどのような分布関数になるか、あるいはある一つのユニークな分布関数になるかどうかという性質と、エルゴード性あるいは混合性ということは関係があるということは分かっているのです。

――― いちばん解けにくい系が、最も統計系としては良質です。

梅　野　安定しているから、その通りです。統計的な性質を求めることができるようなカオス系はかなり存在し、そういうものと本当によく分らない系というものと区別するために、「解けるカオス系」も研究していますが、それは統計的な性質が正確に分かるとか、相関関数など、すべて分かるというものです。

――― 研究会では計算の不可能さという主題とは別に、他にいろいろなプロポーザルがあり、そ

の中で、生命科学と、脳の計算論というべきニューラルネット、進化アルゴリズム（GA）、あるいはDNA計算機など、話題になっていますが、これについてはどうですか。

梅　野　ニューラルネットワークでは、例えばボルツマンマシンというのがあって、それは確率的な状態制御するニューロンで構成されるようなものですが、それによって通常計算機で、現実的な時間で解けないというような、巡回セールスマン問題などが近似的に解けるということが分かってきました。つまり、厳密には解けないけれど確率的には収束していくというようなクラスの系というのは、ニューラルネットワークで研究が蓄積されてきています。ただ、必ずしも現実の脳との対応がうまくできているとはまだ考えることが難しいと言えます。そのような近似的に解くような計算機械により学習の問題などが研究されてきて、そのようなものと、計算論で考えられた複雑さというのは対応付けられているので、それが最終的に実際の人間が行っている計算と、どう違うかが問題です。今のところ、いろいろ実験はできているものの、現実のニューロンとニューラルネットワークとの対応付けにかなり隔たりがあるということです。実験事実が積み重なっても、それがどういう機能をしているかということや、また多体問題であるので非常に解くのが難しい。

――　ニューラルネットワークというのは昔からあって、それは、ニューロンのある特徴は示しているが、脳とはほとんど関係がないとも言えます。私は、脳にはニューロンが何億とあって、一つ一つのニューロンは千ぐらいの足を持っていて、したがって組合せとしたらおそるべき数があるし、ニューラルネットワークの一つ一つ、ニューロンの数というと、3段でも30個ぐらいだと、まったく現実的でない。

梅　野　そうです。だからアートフィッシャルニューラルネットワークと呼んでいます。

――　生命を使った計算の話では、数学で書き得るような法則というよりも、どのようにプロセスしなさいという規則を与えて、あと結果を出すというやり方がある。シミュレーションなどもおおむね、そう言えます。そのような新しいクラスの問題の設定、生物が研究の範ちゅうに入ってから出てきたような気がするけれども、これと梅野さんたちの計算の整合性と言われているときの話とはどのように関係しますか。

梅　野　例えばアートフィッシャルニューラルネットワークの問題においても、2レイヤーのニューラルネットワークだったら解けませんが、3レイヤーにすると、例えば一般の曲線を近似できるとか、そのような対応付けは分かってきたました。逆に、GAなどは、乱数を振ってアルゴリズムを働かせる、一種のモンテカルロ計算のようなものであると考えられます。そのような統計的なクラスでも、それで解ける問題、解けない問題というのがあると考えられます。アートフィッシャルニューラルネットワークや生物的なモデルは、力学系的な計算というよりは統計的な計算が多いからです。

――　最近は私も、モンテカルロ法を使います。モンテカルロ法というのは計算機の方法の中では特殊なもので、通常、数値計算方程式を離散化して行うので、整数化したいと考えるわけですが、モンテカルロ法の場合はそれをもう一度、分布化します。したがって、計算機ではディスクリート化して解けるようにするものと、あいまいにさせて解けるようなものと二つあります。そうすると、解けない場合の中に、デジタルコンピューターでは解けないけどもアナログコンピューターであれば解けることがあります。

梅　野　それはあります。デジタルコンピューターで解けなくても、アナログコンピューターがあると仮定すると解けるというのがもちろんあります。

――　また、もう一つ問題になったのは「計算論」の他に、量子コンピューターや、量子アルゴリズムというテーマも何人かから聞きました。

梅　野　最近、開催された「アンコンベンショナルコンピューティング」という会議では、最初から参加していた佐藤さんによると、現在、量子計算機をとにかく作ろうという研究で、いろいろと米国とかヨーロッパで行われていて、日本も最近になって予算が付いて開始されましたが、本当に量子計算機を作ることが可能かを検討するような研究も出はじめているようです。

――― 1量子ビットぐらいはできても、それをどれぐらいまでつなげるようになっていますか。

梅　野　現在達成できているのは、素因数分解が速くできるなどです。つい最近の例では、実験室レベルで、15を3×5に分解することなどです。私の研究所でも研究をやっています。

――― 2回の研究会では、いろいろなテーマがたくさんあって、おもしろい研究会でした。最近は、計算論についてあのころに話に上らなかったような何かトピックスありますか。

梅　野　解けるカオスということを先程、話題にしましたが、その可解なカオス系というのを、ちょうどこの研究会をやっているころに分かりました。解けない問題をずっと考えていると、フラストレーションがたまってきます。解けるカオス系のクラスに入れられるような問題にはレビー分布があってそれは計算機でも簡単にできます。

――― この話題の展開の重要な要素として、計算機の性能が著しく上がってきたことがあります。「Mathematica」や「Maple」のように簡単に計算ができるようになって、計算論やそのような分野の景色は変化しましたか。

梅　野　現在、ソフトウエアはたいへん良いものが出てきて、しかも計算機も非常に安く速くなりました。しかしそういうものを使っても全然解けないという問題は、今もあります。

――― 例えばたんぱくのフォールディングなどは、計算機が少々大きくなってもそうまだ簡単には解けないと聞いています。最近「地球シミュレータ」を見てきました。たいへん大規模な計算機ですが、それを使っても天気予報はそう当たるものでもないわけです。そういう意味では、何か、どんどん解けない問題が鮮明化してきているのかもしれません。

梅　野　その問題が本当に解けるかどうかということが、よりはっきりとしてきたということは言えるのではないでしょうか。

――― 過去に、われわれ理論物理の人間が計算機を使って解くなんていうのは邪道だという考え方がありました。しかし、格子QCDは計算機を使用して成功した例です。離散化した場の理論計算の大切なところは、繰り込み可能であるため、スケーリング則があって、スケーリング則が現われて来るスケールまで行くと、もうその向こうは計算しなくても、スケーリング則でずっと行っているというのは分かっています。そこで答えても、それはもう連続極限の答えとほとんど変わらないという数学的な安心感です。私が、今、研究している最も解けないと言われているのは、量子重力です。量子重力は、摂動論では発散することが分っています。

梅　野　それは非常に興味深い。私は、今、とくにカオスの系の中でも離散状態、離散時間でどういうカオスがあり得るかという、一種のデジタルカオス系というデジタル時空のテーマを研究しています。それが非常に、数式的にはシンプルに書けますが、やはりカオス的なものがある。この研究は普通は暗号の方に関係してきますが、量子重力にも興味があります。

――― 私たちは空間を三角分割して離散化します。だから、何が起こるかというと、空間、時間のフラクタル化です。量子力学にフラクタル性、ランダムさ、カオスなどが交ざってくると、量子コヒーレンスが落ちたりする。2次元だったら完全にローカライズしてしまうでしょう。われわれが

知っているスムーズな時間、空間とは違う時空になってくるから、そういうランダムな時空のうえの場の理論なんていうのは、今のところ分かっていないわけです。

梅　野　量子重力で解けないというのは、正しい記述がないから解けないということですか。

――― そうです。フラットな時空量に重力子を飛ばすと、発散することはディメンシジョナルアナリシスでも簡単に分かることです。

梅　野　それでは、逆に言うと、正しい記述があれば解ける可能性があると。

――― そうです。われわれは計算機上の手続きとして、重力の性質を書いていますが、それをアナルティックな方程式ではまだ書けてない。そういうような例としては、例えばシュワルツのディストリビューションによるデルタ関数の導入や、ルーベク積分などです。私たちは計算機上では重力の量子化はできたと考えているわけです。

梅　野　量子重力は解けない問題と認識していたのですが、そういった意味では非常におもしろいですね。

――― それで、今後の発展の方向ということで、梅野さんが今、行っている研究は何ですか。

梅　野　あとから今やってることを言いますが、それぞれ、あのとき参加した人には、脳科学は脳科学、その他計算という意味から言語の問題に取り組んでる人もいます。

――― 脳科学というと、本当はニューロンを、構成的な方の、本当のニューロンの性質とそのニューロンのネットワーク、そのように私はどうも還元論的に考えるくせがある。部品があって、部品をどういうふうに組みたてるとテレビができるかラジオができるかを考え、最初から全体があるなどということはあり得なかった。そうすると、やっぱり部品の性質を知るというのは一つの基本で、そして、どういうふうにそれが構成されているかというのは次の基本であって、最終的には、インプットとアウトプットの関係が出てくる。一つ部品の性質とそれのネットワークの構造からインプットとアウトプットの関係を推測するという普通の考え方に陥ってしまうのだけれども・・・。

梅　野　脳科学の場合は、まず、構成要素を解析するということは実験家がやってます。一方、それだけでは全体が見えてこないというので、とりあえず、ある程度機能するようなものを仮定して、それを作ることはできます。それはあくまでも人間が作ったロボットですが、その動きというのは力学系のように記述される。それでどのようなことができるのかという、研究を行っています。他には量子計算。量子計算は、今もブームが続いていますが、現実を構成するにはどうしたらいいかというテクニカルというべきか、実際的な問題があります。あと、量子計算機でカオスのようなもの、量子計算機をシミュレーターとして見なそうというような考え方もあります。例えば、対象となる自然がカオスの場合には、カオスの場合でも量子計算機だと、簡単に解けるということです。

――― 自然現象を計算機に使うというのは、普通、量子計算機の場合には、例えばハミルトニアン計算機というか、普通の力学法則がそのまま計算機のアルゴリズムになっていくということがあります。そうすると、エントロピーは使わないから熱も出ないとか、そういう考え方でした。

梅　野　そうですね、この計算機は可逆です。

――― 他に、何か梅野さんがやっていることをお話し願います。

梅　野　私は、解けない問題は非常に難しいので、解けるカオスという研究を集中的にやっています。それで、一つは経済への応用が、レビー分布を生むような可解なカオスを構成できるというこ

と。また、今やっているテーマは解けるカオスの延長線上ですが、時間は離散的で空間も離散的な系の中で、一方方向を見ると非常に解けない関数に見えて、逆方向を見ると非常に解きやすいというような性質を使った暗号系を扱っています。

——— 素因数分解のようなものですね。分解するのは大変だけども、掛けるのは簡単だから。

梅　野　そうです。そういった離散状態のカオス（デジタルカオス）というのは、ほとんど研究されていない。そういう意味で非常におもしろい。また、現実に本当に強い暗号系というものが作ることができるのかというテーマと関連します。

——— 今のところ、何がいちばん強い暗号系ですか。

梅　野　今の公開鍵暗号の強さは、やはり素数分解の、素数と素数から掛け算するのは簡単ですが、与えられた数を素因数分解するのは難しいというような一方向関数性を使っています。また、カオスのとくに離散的なカオス（デジタルカオス）に素因数分解と非常によく似た一方方向性がある。そういったところをデジタルカオスの性質から調べて、逆により広いクラスの公開鍵暗号を構成するということが有望です。

——— 先程の、レビー分布をジェネレートするような力学系とはどんな系ですか。

梅　野　それはいろいろあってタンジェントとかコタンジェントなどの加法定理で書けるようなシンプルな写像力学系です。

——— レビー分布というのはパラメーターがいくつか、二つかな、あったでしょう。

梅　野　アルファとベータ、そのすべてに対応するものを構成できます。それはけっこう自分でも名作だと思ってます。

——— 自然現象と計算の整合性というような捉え方は新しい捉え方だったというような気がします。ただ、やっぱり、物性の人の捉え方と素粒子方向の捉え方はいつも方向が違う。それもたいへん、興味深いことです。

梅　野　計算機をずっとやっている人の捉え方というのもまた全然違います。やはり、先程出たチャーチ・チューリング・テーゼというのが絶対的なものだという、もう物理が間違っているという感じになります。そのような議論が会議でもありました。小グループは短い間でありましたが刺激的で良いグループでした。