

2021年度静岡大学・読売新聞連続市民講座

# リスクに向き合う

～危機に備えたまちづくり・暮らしづくり～

村越 真+鳴海哲夫+塩田真吾+鈴木哲朗+朴 龍洙  
静岡大学地域創造教育センター（編）

2021年度静岡大学・読売新聞連続市民講座

# リスクに向き合う

～危機に備えたまちづくり・くらしづくり～

静岡大学地域創造教育センター（編）

第1回 私たちの周りにおけるリスクとそのマネジメント

村越 真

1

専門の紹介／危険度の認識／身の回りにおけるリスク／リスクマネジメント／個人的リスクのマネジメント方略を求めて／リスク評価のプロセス

第2回 化学のチカラで感染症に立ち向かう

鳴海 哲夫

27

化学とは／身の回りの化学／感染症の化学／化学のチカラで感染症に立ち向かう

第3回 ネットのリスクをどう教えるか

塩田 真吾

47

はじめに／ヒューマンエラーはなぜ起こるか／SNSをめぐるトラブル／情報モラル教育の課題／情報セキュリティ教育の課題／リスクのグラデーション発想／人権と情報モラル教育／特別支援教育における情報モラル教育／個人のモラルや不注意だけが問題なのか／まとめと今後の研究

第4回 感染症のリスクに向き合う

鈴木 哲朗

71

感染症とは／ウイルスとは／微生物学の歴史／新興感染症／さまざまなコロナウイルス／新型コロナウイルス／ウイルス感染のリスクに向き合う／ウイルス学

第5回 感染症ウイルスを測る

朴 龍洙

95

感染症の歴史／ウイルス／ウイルス検出／先端的ウイルス検出手法／今後の展望／まとめ

本書は、静岡大学・読売新聞社の主催により、以下の要領により行われた連続市民講座「リスクに向き合う」の講演録である。

- ・日時：（第1回）2021年6月5日（土）、（第2回）7月10日（土）、（第3回）8月28日（土）、（第4回）9月25日（土）、（第5回）10月16日（土）
- ・会場：（第1回、第2回）静岡県男女共同参画センター「あざれあ」（第3回～第5回）オンライン講座



第1回

# 私たちの周りにおけるリスクとそのマネジメント

村越 真

## 専門の紹介

私の研究テーマは、山岳遭難など現場でのリスク、リスク認知、そのマネジメントです。ただ、このようなご時世なので、さまざまなリスクに関する研究もしています。特に私は教育学部に所属しているので、子どもたちに行う防災教育のどのようなところに問題点があるのか、あるいは、どのようにしたらより効果的なのかも含めて実践的にやっています。

専門を一言で言うと、認知心理学になります。皆さんには、あまりなじみのない言葉かもしれませんが。心理学というのはどんな方でもご存じで、「心のケアをするのですね」と言われたりしますが、それは臨床心理学という、心理学の一領域です。私がやっている認知心理学は、認知という言葉から分かるように、記憶や学習などの人間の知的活動の背後にどんなメカニズムがあるのかを明らかにする学問

です。人が世界をどう見ているのか、どう理解しているのか、そこに知識やその人の推論がどう影響しているのかを研究する分野です。

## 危険度の認識

＋グレゴリーのダルメシアン犬

講座では、認知心理学ではよく教科書に取り上げられる、RC James氏が撮影した木漏れ日の中のダルメシアン犬という写真を加工した図を見てもらいました。

この絵は白黒なので、陰と陽が当たる部分がまだらになった背景の中に白黒のぶちであるダルメシアン犬がいると、犬が背景に紛れ込み、犬だとすぐには分からないような図になっています。しばらく見ても、何が描かれているか分からない人が半数くらいはいます。ところが、「犬です。」と言われると、その場で「分かった!」となる人

もいれば、だんだん犬らしいことが分かってくる人もいます。

犬だと思いつつ見ることで、頭、胴体、前足、後ろ足が、それぞれこれだ、と分かるようになるのです。このような体験から分かることは、私たちが見ている世界というのは、最初から意味が分かっているわけではなく、曖昧な情報を自分で再構成しつつ理解するという局面がたくさんあります。もしこれがリスクだったら、ある人は、ここにはリスクがないと思っただけで、別の人が見れば、リスクがあることに気が付くということも生まれてくるわけです。言ってみれば、認知心理学は、このような外の世界にある情報をわれわれがどう受け取って、どう解釈しているかということの研究する領域です。これからお話をする中で分かってくると思いますが、リスクというのも非常に曖昧な現象なのです。それを人がどう理解しているか、そこにどういった要素が影響しているかということの研究は、われわれがリスクに強くなる、あるいは、それを乗り越えていく上での基礎的な研究になるのではないかと思います。というのが私の理解です。

### 子どものまわりにあるリスク

今の絵はある意味作り物の絵だったので、別の、もう少し



図1 キャンプにおけるリスク (村越, 2003)

し現実に近い絵を見ていただきました(図1)。これは、小学校五年生ぐらいの子どもたちが林間学校でキャンプをしているような場面です。皆さんも経験があると思います。キャンプで飯ごう炊きをして、カレーか何かを作っているのでしょうか。さて、皆さん、この絵の中で危ないところを何点か指摘できますか。たくさんあると思います。

まず、子どもたちが熱いカレーが入った鍋を持っています。この子たちを見ると、へらへらしていて、結構危なっかしいです。集中力を欠いている感じに見えます。鍋を持っている片方の子は、後ずさりしていて、歩き方が変です。

今別に何か起こっているわけではありません。でも、われわれ大人が見れば、次の瞬間は大惨事になるかもしれないと想像できます。あるいは、かまどのそばに新聞紙や紙くずが置きっぱなしです。これも次の瞬間燃え移ったら、何か大変なことが起こるかもしれません。また、飯ごうが、ご飯を炊いた後、蒸れるのでひっくり返してありますが、この子は今にも触ってしまいそうです。触ったら相当なやけどをしてしまうかもしれません。鉈なたも置いてあります。これは刃物だから危ない気がします。他にもたくさんありますね。

ここにいらつしやる皆さんは、分別のある大人ですので、大体これは危なくなるだろうということが分かると思いますが、実は子どもに聞いてみると、必ずしもそれは当たり前のことではないのです。

#### ↑危険度の認識の違い

教員、キャンプを百日以上経験しているような指導者、小学校四・六年生に、キャンプ中の一〇個の項目がどれくらい危ないかを〇から一〇〇で答えてもらい、その平均値を取りました。その結果を見ると、教員と指導者は、大体同じような傾向で危険を見ることが分かりました。しかし、小学校四・六年生の回答は、教員や指導者とずれが

ありました。例えば、火の脇でふざけているのは、子どもたちは危険度が高いと評価していますが、かまどをのぞくということは、指導者が思っているほど危なくないと考えています。

一方で、指導者がそれほど危なくないと思っている、マッチが落ちていること、かまどの脇に紙が置いてあること、かまどの火が出過ぎであることの危険度をかなり高く評価しています。このように、人の属性によって、危険度の認識は随分違うということが研究で分かっています。

危険度の認識は、恐らく知識の持ち方や推論、どれだけ思考できるかというところに依存しています。危険度の認知が違うということは、さまざまな問題があります。例えば、過小に危険だと思っていたら、当然、避けるべきリスクを避けられないことになってしまいます。では、過大に、本当の危険よりももっと危ないと思っていれば、それは安全かという点、必ずしもそうではないというお話を今日はしていこうと思います。

#### 身の回りにおけるリスク

ここでクイズを出します。○か×か、聞きながら考えておいていただければと思います。後でこれについての答え

が出てきます。

- ① 新型コロナウイルスの累計感染率は日本では人口の1%を超えた。
- ② 新型コロナウイルスの感染者の死亡率は日本では2%以下である。
- ③ 新型コロナウイルスのアメリカの累計感染率は日本の10倍を超えている。
- ④ 六十歳代の死因のうちで、浴槽内で溺死する人は自然の中で溺死する人の二倍程度である。
- ⑤ 十歳から六十四歳までの死因のうちで、交通事故死と自殺者の数はほぼ等しい。

#### ＋withコロナで考える「リスク」

この一年、withコロナということがよくいわれています。この一年間の感染者数と死者数の推移を見ると、今が第四波だということも分かりますし、昨年(二〇二〇年)の今ごろは、われわれはおっかなびっくり暮らしていましたが、第一波なんて全然かわいいものだったとか、感染者数より少し遅れて死者数がピークになっていたのかなど、いろいろなことが見えてくるのではないかと思います(図2)。

今まだわれわれはコロナ禍の中にいるので、リスクを考

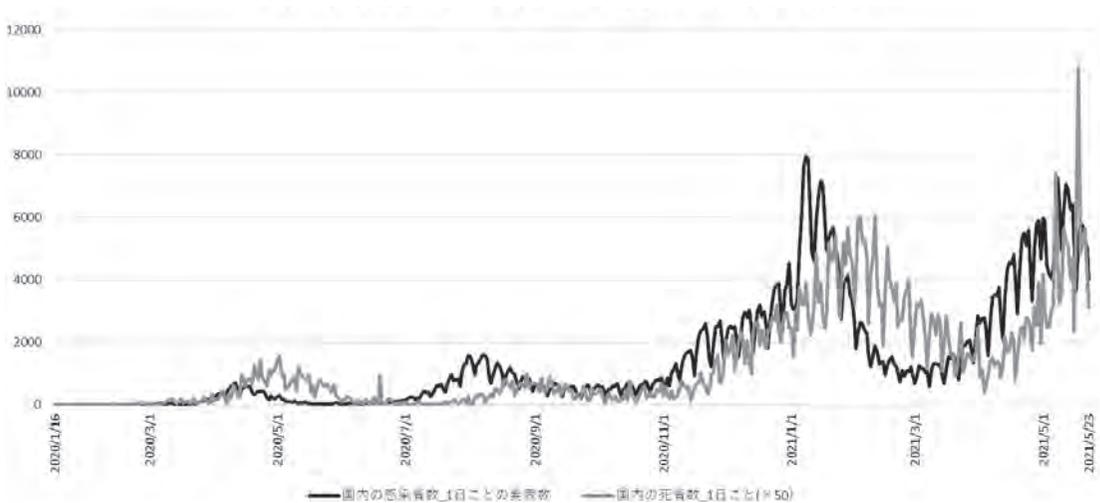


図2 新型コロナウイルス感染者・死亡者数 (NHKデータサイトより筆者作成)

える上で、実は非常に良いタイミングだと思っています。それは、リスクについて考えることが、新型コロナウイルスの対策につながるだけでなく、リスクのただ中にあるということが、リスクの複雑な性質について理解する、リスクについて深く考えるためのいろいろな材料を提供してくれると思うからです。

#### ＋リスクとは何か

さて、まずリスクとは何だろうという話です。リスクというのはいろいろな定義がありますが、一般的には損害の可能性や、損害の起こりやすさといわれています。ポイントは、可能性や起こりやすさなので、まだ実際には損害が発生していない状況だということです。

今日このホールに集まることは、新型コロナウイルス感染のリスクがあります。けれど、一応検温もしているので、実際に発症している人はいないはず。だから損害が発生しているわけではない。でも、このような比較的狭い空間に、それなりの人数が集まるということは、損害の可能性が生まれるということです。

もちろん、新型コロナウイルスの場合は、ウイルス自体がリスク源、リスクの大本になるものですが、それだけでは損害の可能性が生まれるわけではありません。そこに不

適切な行動があると生まれます。屋外にいればリスク、新型コロナウイルス感染の可能性はほほないだろうけれど、三密の空間に入れば、つまり、リスク源に対して不適切な行動をすれば、そこに損害の可能性が生まれるということになります。

可能性ですので、大小があります。例えば、今日は入場人数を減らしました。いろいろな対策も立てています。ですから、もちろん感染の可能性はゼロではありませんが、許容できる程度には下がっているだろうという判断で、この会場でやっているわけです。でも、これが例えば一〇〇人しか入れないところに一〇〇人入ったら、当然リスクは上がっていきます。つまり、リスクには、リスクを増やす要因というのがいろいろあり得ます。例えば新型コロナウイルスで言えば、マスクなしでしゃべる、大声でしゃべる。この二つは確率、感染しやすさの可能性を変えます。また、高齢でも、よく六十歳以上の感染や死亡率といわれていますが、リスクが増えます。基礎疾患があると損害が大きくなりますし、体調もそうかもしれません。このように、さまざまなリスク増大要因があつて、リスクは高くなったり低くなったりするのです。

一般的には、危険がいつ発生してもおかしくないような状態、あるいはそれが見て取れるような状態のときに、「こ

これは危険な状態だ」という言い方になります。ここは非常に主観的な話で、いつ発生してもおかしくなくても、まだ実際に発生しているわけではないという状態です。損害が発生すれば、明らかにコロナ感染者が発生したと分かります。そこは事実として明らかです。でも可能性は見えません。見えない中で、しかし損害の発生につながるような状態を表して扱っていかうというのが、リスクという考え方の根底にあります。その意味で、リスクというのは、見えないものをいかにして考えたり、可視化したりしていくかという概念だということになります。

#### ＋リスクの厄介な性質

リスクというのは厄介な性質を持っています。厄介な性質というか、人間が考える上で厄介なところがあります。それを列挙してみます。

##### ①潜在的だが、突如顕在化

新型コロナウイルスであれば、感染したときに、「あ、感染してしまった」となります。もちろん、その直前にちょっとした兆候があるかもしれませんが、何で感染したのだろうとなる。それまでは確かに感染リスクがあることが分かっていたとしても、それは直接見えない、潜在的な状態です。それが、あるとき突然感染することで顕在化する

という性質があります。当然、潜在的だと見えないわけですから、どうやってそれを回避するかということが非常に難しいわけです。

##### ②低確率だが高損害

少し前に調べた日本の総感染者数は、七三万人ぐらいでした。ということは、これがクイズ①の答えになるかと思いますが、新型コロナウイルスの累計感染率は日本では人口の1%をまだ超えていない。〇・五六%ぐらいになるかと思えます。そういう意味で、新型コロナウイルスの感染率はそんなに高くはないわけです。しかも、〇・五六%というのは累積ですから、今実際に感染している方は、その一〇〇分の一ぐらいです。けれども損害はどうかというと、低年齢の方の場合はそれほど大きな損害ではないですが、私も含めて皆さんも、死亡率は数パーセントあるということを考えると、感染すると実際にはそれなりに高損害であるということです。低確率だけれど高損害というのは、非常に厄介なのです。

低確率でも、コロナにかからないようにするために、皆さん対策をされています。マスクも買わなければいけない、行きたいところにも行かないようにしている、ましてや当然、飲み会もやめている。対策にはコストがかかるのです。一方で、実際にかかる確率はすごく低いわけです。そうす

ると、かからないのではないかという気持ちが働きやすい。でも、それを防ぐためには、今日の前にある楽しみを諦めなければいけない。それはコストです。その対策のコストを怠ると、確率は低いかもしれないけれども、かかったとき、命に関わるような事態が起こり得る。そこにジレンマが生まれます。なかなか思い切った対策を取りにくい、コストの障害が生まれてしまうというところがあります。

### ③メリットと不可分

これもリスクの大きな性質です。リスクという言葉は、ラテン語に起源があるといわれています。元々の意味は、諸説ありますが、基本的には航海に出ていくことによる、危険性や失敗の可能性のようです。航海というのは、貿易、富を築いたり、自分のところにはない何かを手に入れるために行くわけです。だから、それがうまくいけば、当然、たくさん利益が得られる。けれども、必ず沈むわけではなく、時々沈んでしまう。つまり、海に出ていく以上、それはメリットではあるけれども、そこで船が沈んで、財産なり命が失われてしまうという、メリットの裏返しとして必ずリスクがあるということです。

これを新型コロナウイルスに置き換えて考えてみましょう。例えばどういふ場面であつるかというところ、人との接触です。われわれは今まで人との接触というものを、ある種

大事にしてきたし、コミュニケーションの機会として、忘年会や歓送迎会などを楽しんできました。でも、今やそれが近くでマスクを付けず酒を飲んで、しかも大声になるということはリスクになってしまっています。そのようにコロナの感染に関しても、人との接触という、これまでメリットだったものが、その裏返しとしてリスクになっているという性質があります。新型コロナウイルスに限らず、さまざまなことを見ていくと、実はリスクというのは、ほとんどがメリットの裏返しになっていることが分かります。

### ④ジレンマ性

そこから出てくるのが、ジレンマ性です。リスクだけ取り去ろうとすると、メリットもなくなってしまいます。感染リスクをなくそうとすると、楽しみだった忘年会、歓送迎会、飲み会もなくなってしまいます。そういうジレンマがあります。どちらかだけをなくすることはできない。あるいは、対策を立てようとする、お金がかかる。それほど大きな金額ではないかもしれませんが、それが重しになる方も当然あります。そのようにメリットと不可分であるがゆえに、リスクをなくそうとするとメリットもなくなってしまいます。あるいは、リスクを回避しようとする、そこにコストという別のリスクが生まれてしまう。そういう性質をリスク

というのを持っています。

何か一つのすごく良い方法でこれを回避できるかという  
と、別の観点から見たら別のリスクが生まれてしまうとか、  
さらに別の観点から見ると、経済的に非常に問題だとい  
うことが生まれていると思います。それは皆さんの中でそれ  
ぞれに、この一年感じてきたことなのではないでしょうか。

### ⑤波及性

五つ目は、波及性です。感染を減らすために、経済活動  
は昨年の今ごろ、相当停滞していました。単に経済が停滞  
するだけではなく、それによって、経済的に困窮し、生  
活についても非常に困窮していく人が現れたということ  
は、皆さんも感じられていると思います。いろいろな研  
究チームがそういうことについて研究していて、例えば、  
「Nature」という有名な雑誌に人間行動を扱う「Nature  
Human Behaviour」という別冊があるのですが、そこに  
今年の二月ごろに日本人の研究者が出していた論文によ  
ると、他の新聞記事でも出ていますが、自殺者数が明らか  
に増えているということです。特に若い女性の自殺率が増  
えているといわれています。

また、これは逆の意味での波及性として、興味深い論文  
が、二〜三日前のやはり「Nature Human Behaviour」に  
出ていました。これは日本人ではなくて別の研究者ですが、

二〇二〇年、世界全体で犯罪の発生率が半分ぐらいになっ  
たということです。相当な減少です。分析では、やはり犯罪  
は外で起こりやすいと思いますが、人が外に出ていかなか  
なり、人の動きが減ったので、犯罪が半分ぐらいになった  
ということでした。これには実はオチがあつて、殺人が  
一四％しか減っていないのです。つまり犯罪全体は半分ぐ  
らいに減ったけれど、殺人は一四％で、減り方が少ない。  
これは結構シビアな分析ですが、殺人の多くは家の中で起  
こっているという推測がなされていました。これは犯罪の  
分析では結構有名な話で、殺人は見ず知らずの人に殺され  
るよりも、親族や知り合いに殺される数が、圧倒的に多い  
とは言いませんが、それなりに多いのです。ちょっと脱線  
しましたが、そのようないろいろな波及性も生まれていま  
す。例えば中学生でも、うつ傾向が増えたとか、教育格差  
を感じる子どもたちもいるというようなことが分かってい  
ます。

われわれ大学も、二〇二〇年の前期はずっとオンライン  
の授業をしていました。一教員としての実感は、比較的オ  
ンラインでも何とかできたという感じがあります。しか  
し、積極的でない学生さんなどは、ひよっとすると、われ  
われの目に触れないところで家にもついていたり、勉強が  
できていなかったりするのではないかと思うところもあり

ます。まして、もっと低年齢の中学生や小学生に関しては、心理的にも相当大変な状況だったのだろうなと思います。このような波及性も、コロナ禍の中で現れているということですので。ですから、リスクということを考えるときには、直接それがもたらす影響、新型コロナウイルスで言うと、感染する、自分がそれで一週間、二週間大変な思いをするというだけでなく、それがいろいろ波及的な損害を生み出してしまうということも考えていかないと、リスクの対応はうまくいかないということを、われわれもここ一年勉強してきたところかと思えます。

#### ＋コロナ以外のリスク

われわれの生活の中にはコロナ以外にもいろいろなりリスクがあります。例えば交通事故です。交通事故は今だいぶ減ってきて、年間の死者数は四〇〇〇〜五〇〇〇人になっていますが、時々理不尽な事故が発生しています。

二〇一九年、池袋で高齢者が運転する車が横断中の親子をはねて死亡させるという事故がありました。あるいは同じ年に、大津の保育園の児童が散歩をしているときに、交差点で、きちんと道路から少し離れたところで待っていたにもかかわらず、右折する車にはじかれた直進車が突っ込んでしまったという事故もありました。そういう意味では、

低い確率だけれども、日常の中で、あるとき突然、大きな損害が起こるということもあります。

静岡での南海トラフ巨大地震で、津波の死者が九万六〇〇〇人になるという想定も出ていますが、自然災害も、まさに低確率、高損害です。今後三十年以内に起こる確率が八十数パーセントといわれていますが、静岡では、ここ何十年間も来る来ると言われていたけれど、一向に来ない。でも、恐らく、あるとき来るでしょう。いったん来れば、これぐらい津波の被害が起こり得るということです。今来ない、今顕在化していないからといって、それに対して準備を怠るわけにはいかない。けれど、顕在化しないとわれわれもコストが先に立って、なかなか対策できないというのが実態です。われわれ人間のさがと言ってもいいかもしれません。

あるいはSNS（ソーシャル・ネットワーキング・サービス）のリスクです。SNSの誹謗中傷で自殺する、そこまでいなくても、精神的にダメージを受けるということも起こっています。元々、SNSという言葉から分かるように、SNSは対面しなくても他の人と社会的につながることでできる、ある意味、便利な道具であり、それによって恩恵を受けている人も多いと思います。皆さんの中にも、FacebookやTwitterをしている方も多いと思います。私も、

もちろんやっていて、何十年前の同窓生が友達申請をしてきて、旧交を温めるというメリットもありますが、それで広がる世界によって、外から非難を受けたり、バッシングされたりするという可能性も、非常に増えているのが実態だと思います。

また、経済的リスクもあります。老後に二〇〇〇万円不足するという問題が話題になりました。本当に足りなくなるのかと疑問に思いますが、こうやって言われると、本当に老後に二〇〇〇万円足りなくなるとすれば大変なことだな、という気持ちになってしまいます。

このように、われわれの社会というのはリスクに囲まれています。それは実は、われわれの社会が便利になって、なおかつ暮らしが安定していることの裏返しでもあるわけです。暮らしが安定していると、不安定さに対して非常に不安感を抱きやすくなります。先ほど挙げた交通事故も自然災害も、SNSはなかったにしても、人から誹謗中傷されることも、経済的なリスクも、今までもあったはずですが、けれど、われわれは安定して、比較的豊かな暮らしを送れるようになる、そこから外れていく、変動していくことが怖くなる。それが、われわれが今リスクに敏感になっている大きな原因ではないかと思えます。

#### ＋リスクを正しく認知する

リスクの性質は、低確率で高損害というお話をしました。低確率だと人はうまく確率を認知できない、どれぐらいよく起っているかということやうまく感じ取ることができないということが、心理学の研究で分かっています。そこで、十歳から六十四歳までの死因を挙げてみます(図3)。

自殺は今、人間の死因として非常に重大な問題だといわれています。全年齢で二万四〇〇〇〜二万五〇〇〇人ぐらいです。死因の二番目が交通事故です。交通事故も、相当多いですが、自殺と比べると随分低いということが分かると思います。それから、溺死・溺水で亡くなる方はそれなりにいますが、交通事故、ましてや自殺と比べると、数はまったく多くありません。どこで溺死しているかという、浴槽内や自然の水域内です。若い頃は、自然の水域内、つまり海やプールで溺死する人が多いですが、五十歳を超えるぐらいから、浴槽内で亡くなる方が圧倒的に多くなります。われわれが一番恐れがちな人に殺される、加害に基づく傷害及び死亡というのは、他のものと比べると数としては少ないです。

ですので、先ほどのクイズの答えは、「①新型コロナウイルスの累計感染率は日本では人口の二%を超えた」は、人口の二%を超えていないので×です。

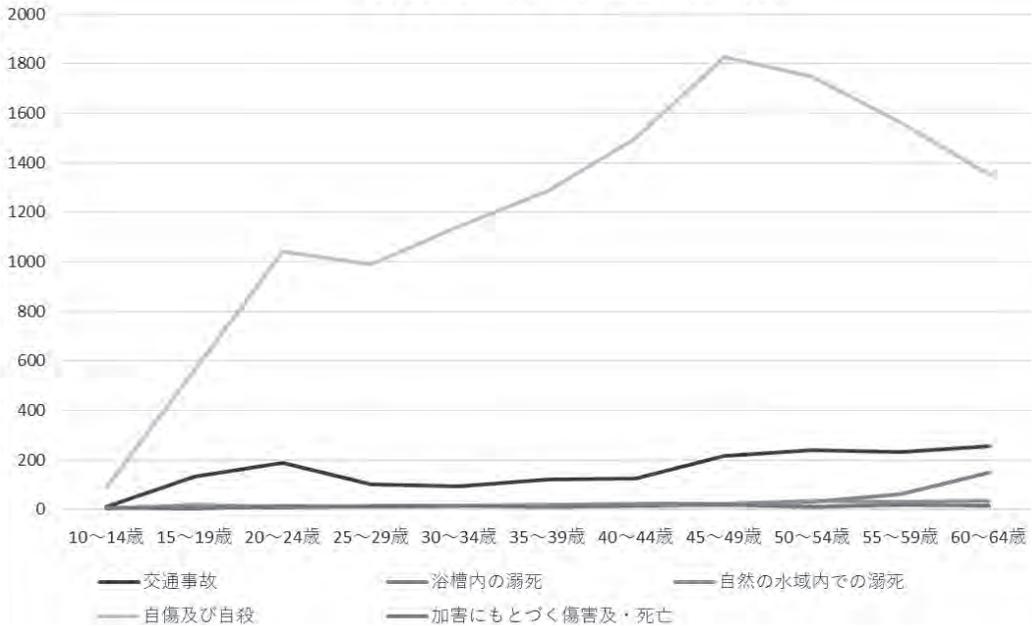


図3 10～64歳までの死亡リスク (2019年人口動態調査を元に筆者作成)

「②新型コロナウイルスの感染者の死亡率は日本では二%以下である」は、死亡率は一・七%ぐらいなので○です。

「③新型コロナウイルスのアメリカの累計感染率は日本の一〇倍を超えている」は○です。アメリカの累積感染率は、日本の一〇倍をはるかに超えています。アメリカは人口の一〇%ほどです。日本は、実際に感染した人はもう少し多いと思いますが、まだ〇・五%ほどだと思います。

「④六十歳代の死因のうちで、浴槽内で溺死する人は自然の中で溺死する人の二倍程度である」は、六十歳代で浴槽内で溺死する方は五一九人です。一方、自然の中で溺死する方は九七人ということで、五倍以上ですから×です。プールや海や川で溺れて亡くなるとニュースにはなりますが、実はその五倍ぐらいの方が浴槽の中で亡くなっています。浴槽というのは、実は非常にリスクの高いところだということになります。

「⑤十歳から六十四歳までの死因のうちで、交通事故死と自殺者の数はほぼ等しい」は、自殺の方が五倍以上多いので×です。

なかなか普段考えないことですので難しかったと思いますが、このように日常的にあることではあっても、確率の低いことというのは、なかなかリスクを適切に判断・評価するのは難しいということをお分かりいただけたと思います。

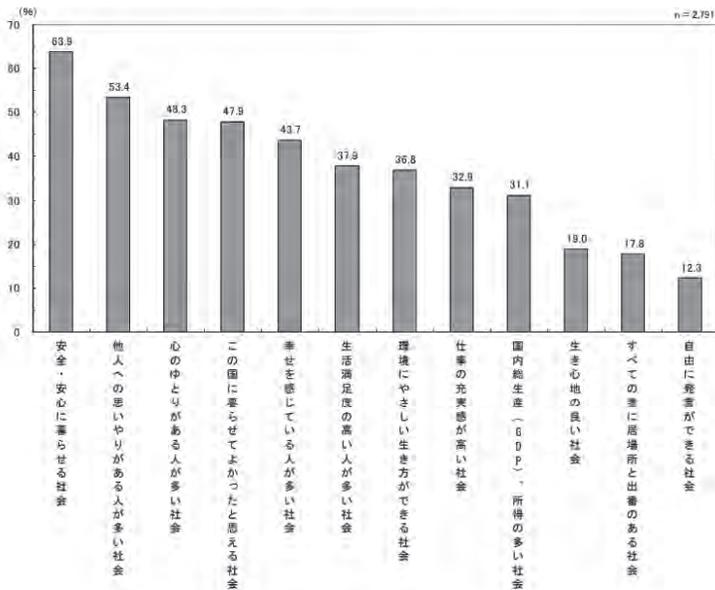


図4 日本は今後、どのようなことを社会の目標にしていくべきか

(出典) 平成23年(2011年) 国民生活選好度調査

URL: <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10361265/www5.cao.go.jp/seikatsu/senkoudo/senkoudo.html>

す。  
国民生活に関する調査において、「日本は今後、どのようなことを社会の目標にしていくべきだと思いますか」という質問の回答で、一番に挙がっているのが、「安全・安心に暮らせる社会」だということです(図4)。われわれは生活が豊かになって、比較的的安全になっているがゆえに、より安全を脅かされるような状態を避けたいという気持ち

が強いのではないかと、ということが分かると思います。

## リスクマネジメント

### リスクマネジメントのプロセス

ここからは、リスクマネジメントをどのように一人一人がやっていくのかということになります。リスクマネジメントというのは、リスクを見つけないとどうしようもないので、リスクを特定して対応していくわけですが、見つけたリスクに何が何でも対応していくというわけではなく、途中に「分析」と「評価」という二つの段階が入ります(図5)。

まずはリスク特定です。これはリスクを発見することですが、実際に損害が起こっているわけではないので、リスク自体はなかなか見えません。だから、リスクを発見・特定するには、リスク源、何がリスクの大本になっている

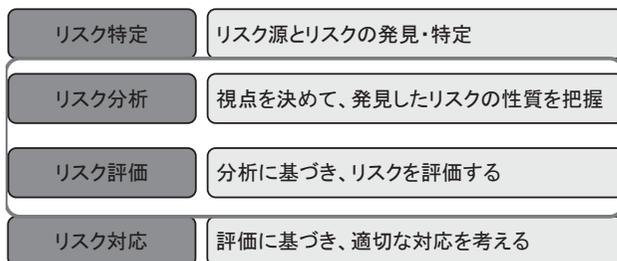


図5 リスクマネジメントのプロセス

かを特定する必要があります。ですので、リスク源とリスクの発見・特定が第一階になります。

次がリスク分析、リスク評価です。リスク分析は、視点を決めて、発見したリスクの性質を把握するという事です。リスク評価は、分析に基づいて、リスクを評価することです。リスクを評価するというのは、簡単に言うと優先順位を付けていくということになります。評価に基づき適切な対応を考えるとというのが、リスクマネジメントのプロセスということになります。リスクに対応するというのは、リスクをなくす、回避するというだけではなく、他にもいろいろ対応の仕方があります。それはこれから見ていきます。

＋リスクをアセスメントする

身の回りにおけるリスクを分析して、図にしてみました(図6)。人によって考えが違ってもいいですし、誰を対象にするかでも違うと思うので、これは一例だと思ってください。

例えば、インフルエンザは比較的にかかりやすいですね。人によっては毎年かかる人もいますでしょう。でも、インフルエンザで命を落とす方は、もちろんいるけれども、数日寝れば治るといって人がほとんどでしょうから、インフルエ

ンザは確率が高く損害は低いリスクだということになります。

一方で、航空機事故や犯罪行為による死傷は、そうあるわけではありません。航空機事故は特にそうです。けれど、事故が起きると、乗客乗員はほぼ亡くなってしまうと考えれば、低確率であるけれども高損害になると思います。犯罪行為もそうです。

自然災害、特に地震が発生したときの被災は高確率・高損害です。例えば、沿岸部に住んでいけば、地震が発生すると、かなりの確率で命が奪われます。

低損害・低確率というのは、なかなか考えるのが難しいです。つまり、意識していかないのです。あまり起こらないし、リスクもそれほど高くない。自分の回りに何かあるかと思って考えると、寸借詐欺を思いつきました。私も一回やられたことがあります。駅に歩いていく途中、「すみま

	低損害	中損害	高損害
高確率	インフルエンザ 不審者情報		自然災害時の被災 <b>回避</b>
中確率	<b>低減</b>	新型コロナ 老後の資産リスク？ SNS 交通事故	
低確率	寸借詐欺 <b>保有</b>		航空機事故 犯罪行為による死傷 <b>共有</b>

図6 リスク分析（一例）

せん、二〇〇〇円貸してください。背広をお預けします」と言われたましたが、「背広をもらってもね」と思い、「困っているのだっただけですよ」と言って現金を渡しました。もちろんお金は返ってきませんでした。それは二〇〇〇円の損害です。寸借詐欺というのはそれほどあるものではないので、これだったら低確率・低損害かなと思いました。大体において、日常生活の中でそのあたりはそれほど気にしてはいないわけです。

一方で、起こりやすくして損害が大きいものは、優先して回避していかなければいけないことになると思います。高損害・高確率な自然災害への対応としては、例えば、沿岸部であれば防潮堤を高くしたり、避難の迅速化を図ったりすることが当てはまります。

低確率・高損害は、なかなか対応が難しいです。めったに起こらないことというのは、その確率を下げるのはすごく難しいのです。今、相当努力して飛行機も落ちないようになっています。だから、それをさらに落ちないようにするというのは、相当難しいです。なおかつ、低確率ですから、常識的に考えて、自分が乗るときに飛行機が落ちるかとかじめに考える人は、あまりいません。もちろん、いれば乗らないわけです。

そこで、低い確率で起こったときどうするかというと、

共有というのが一般的な対応です。この場合、共有とは何かというと、大抵保険です。もちろん、飛行機事故や犯罪による死傷で失った命は戻ってきません。でも、失った命からさらに、例えば家族の経済的破綻のようなリスクに波及していくことがある。だから、せめてその波及を食い止めましょうというのが保険の仕組みです。つまり、最初の損害から派生する経済的ダメージを共有しているのです。保険金をもらう人はごくわずかです。一万円の負担で、例えば一億円もらえるというのは、一万円負担してもらえない人がいるからです。つまり、それは経済的な損害を、みんなで共有してくれたということになります。

低確率・低損害の対策は、保有ということになります。保有というのは、簡単に言うと、放っておく、そのままにしておくということです。リスクマネジメントにはISO31000という国際規格があり、その中では「情報に基づく意思決定による保有」という長い名前が付いています。簡単に言えば、そのリスクが本当に低いのか、損害はどうなのかということをきちんと情報収集した上で、これなら実際それが起こっても耐えられる、だから放っておこうと決めた、そういう意味です。

それ以外のところは基本的には確率を下げるのか、損害を下げるという対応になってくると思います。

## 個人的リスクのマネジメント方略を求めて

### 十 研究対象

ここからは、リスクマネジメントをどうしていくかという話を、私の研究事例を紹介しながら話していきたいと思います。私が研究しているのは、個人的なリスクマネジメントです。リスクマネジメントというと、どちらかというと、組織に対するリスクをどうコントロールしていくかという話が主ですが、個人の回りにも、個人が責任を持つて対応していかなければいけないリスクというのはたくさんあるわけです。もちろん、日常生活にもあります。ただ、研究の手法的に考えると、極端な場面の方が、より特性が分かりやすいということで、私が元々自然の中の活動をしていたこともあって、基本的には自然の中で、ハイリスクの場面で活動される人たちからの聞き取りなども含めて研究しています。例えば、南極観測隊の隊員、山岳ガイド、高所クライマーです。山岳ガイドは、お客さんの安全を守らなければいけません。高所クライマーは、一番高い山は八〇〇〇m以上ですが、大体六〇〇〇m以上の山に登るので、落ちればいつ死んでもおかしくないような状況です。そのような過酷な中で活動している人たちのリスクマネジメントを研究しています。

そういうものが日常生活にどうつながるかということですが、例えば、幼稚園のうんていだって、近くに先生がいるから、子どもは安全が守られているわけですが、落ちたら大けがをします。南極や高所登山は死と隣り合わせと言えますが、そういう意味では、幼稚園のうんていだって、ある意味、死と隣り合わせなわけです。そのように考えて、極端な場所でのリスクマネジメントは、日常のリスクマネジメントを考えるヒントになるのではないかとという作業仮説の下に、いろいろ研究をしています。

### 十一 南極にあるリスク

南極というのは、致命的なリスクがいろいろあります。実際に事故事例もあります。日本では一九六〇年に、昭和基地で一人亡くなられた方がいました。その後も、一九七四年に氷山のクレバスに落ちて亡くなった方がいます。それから大きな事故は、十年に一回ぐらい起こっています。南極に行くということは、そこに誰も行ったことのない場所があるわけで、誰も行ったことのない場所というのは、研究上の発見の価値があるのです。でも、誰も行ったことがないということは、当然そこにはまだよく分かっていないリスクもあるかもしれないということで、研究上の挑戦と安全管理は、常にジレンマの関係にあります。

そういう意味で、南極というのは、リスクマネジメントを考える非常に良いフィールドではないかということ、南極観測にも一回行かせていただきました。今年も秋に行く予定です。

余談ですが、実は二年前にも越冬隊に応募して、あと少しで行けるところまでになったのですが、健康診断で落ちて行けなかったことがあります。大したものではなく、腹部の静脈瘤で、日常生活ではまったく支障がないのですが、静脈瘤があるということは血栓症になるリスクがあり、血栓症になったら向こうでは助けられませんかと言われて諦めました。諦めたというより、私自身は、別にどこにいても血栓症になるリスクはあるのでいいかなと思っただけですが、越冬するということは、他の隊員さんが私の死体と半年間、一緒に暮らすことになるので、それはやはりできないと思いました。また、万が一、私が向こうで発症して、まだ日本の船がいたとすると、その日本の船「しらせ」が急いでも、一番近い文明の地、南アフリカまで三日かかると言われました。三日かかるということは、発症したら他の任務を全部投げ打って、私を救うために南アフリカに行くわけです。そうすると仕事が一週間止まってしまうので、それはさすがにダメージの波及が大きいなと思って、一応、リスクの研究者なのでやめました。そう

いうオチが付いています。

南極がどんな場所かという点、昭和基地は、基本、山奥のダムの飯場のような状況になっていますが、少し離れると本当に人が一人もいないようなところ。自然が美しいといえばそのとおりですが、当然、人がいないということは、さまざまなリスクがそこにあるわけです。

氷河を見ると、少しへこんでいて、筋がたくさんあります。これはいわゆるクレバスというのですが、厄介なのは、雪が積もってクレバスが隠れていることです。隠れているけれど、その上を歩くと抜けて落ちます。落ちると三〇mほど落ちるので、ほとんど死にます。ですので、ロープを付けて移動します。過去には大事故が起こって、亡くなった方もいます。

タイドクラックという、海の氷の上にできる割れ目もあります。深さはそんなにありません。日本の基地は島にあり、その島の周囲では潮の満ち引きで氷が動くので、そのような裂け目ができます。日常的に暮らすすぐそばに、こんなリスクがあります。

#### † 隊員への聞き取り調査

南極にあるいろいろなリスクについて、隊員はどれくらい知っているのか調査しました(図7)。例えば地吹雪、

タイドクラック、クレバスでの転落などです。もちろん経験している人は知っているの、未経験の隊員に聞いています。現在、南極観測に参加する人の半分ぐらいは、初めて参加する人です。そういう人が訓練に最初に集まったとき、どれぐらいリスクについて知っているかという、例えば日焼けもリスクですが、こ

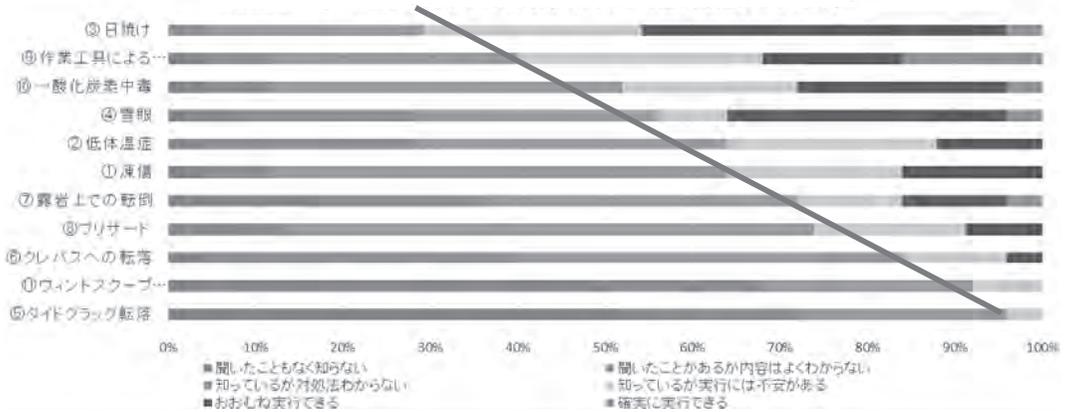


図7 南極のハザードへの対処（未経験者前）（村越・菊池、2017より）

これは日本でもあることなので、七割ほどの人は知っているか、何とか対応できると答えました。しかし、タイドクラックのようなものは、知らない、聞いたことはあるが内容は分からない、知っているが対処法は分からないという状況でした。つまり、未知のリスクがたくさんあるところに、隊員は半年ぐらいの訓練で行かなければいけないということになっています。

#### 南極地域での観測活動

海水の上を移動するときには、クラックがあちこちに起こり得て危ないので、あらかじめルートを決めておきます。ルートの目印に旗を立てたりします。氷が解けて、そこに雪上車がはまると救い出せなくなります。昭和基地のそばでは、雪上車が何台か海の中に沈んでいるようです。

日本の基地は島にあるので、研究活動に行くときには、必ず海の氷の上を渡って行かなければいけません。タイドクラックができた場所では、怪我の危険性は少ないですが、雪上車がスタックしてしまうリスクもあります。

雪が風でえぐれたようになってきているウインドスクープを歩くと、3mぐらいの崖があります。間違つてこのようなところへ落ちるといふ事故が過去にもあります。落ちただけだったら大したことはないのですが、そこには建物の下

を支える鉄骨構造があるので、滑り落ちて、それに顔面を打ち付けたという、聞くだけで気持ち悪いような事故が起こっていたりします。

ブリザードは、ひどいときは伸ばした手が見えないそうです。死亡事故があります。

夏場は湖ができるので、そのようなところで研究活動をすることもあります。夏場でも雪が残っているので、ほぼ零度です。零度の水の上で作業をしたりします。もちろんドライスーツを着ていますが、落ちると大変なことになります。

私がお手伝いに行った研究活動では、氷河の上で穴を掘りました。この氷河は厚さが四〇〇mぐらいあって、そこにボイラーで作った温水で穴を開けるといふ気が遠くなるような作業を丸一日します。そして、氷河の下にある水を含んで、その成分を調べるといふ調査をしました。

また、南極も日本が実効支配しているということを示すために地図を作っていて、その測量のために、空から分かる印を描いて、ピンを打って、他の場所との距離や角度を測ります。興味がある方は、「国土地理院 南極大陸図」で検索してみてください。今、測量はGPSでやるので、二時間ぐらいアンテナをほったらかしです。その間は暇なので、昼寝をすることもあります。

基地から離れる研究活動をするときには、すべてキャンピング生活になります。テントの上で生活しているという感じです。テントの中は比較的快適ですが、致命的なリスクが本当に目の前にあるということです。

南極活動をつかさどっている極地研究所も、リスクが高い状態で観測しているということに対しての問題意識は持っていて、事故例集を一九八四年から毎年出しています。事故例集の「はじめに」を観測協力室長の村越望氏が書いていて、名前が一緒なのは偶然ではなく、私の父親です。父親は第一次隊のときに行っていて、第四次隊のときに、ブリザードの中で一人同僚を亡くすという経験をしています。

「はじめに」には、このように書いてあります。「観測隊は常に危険の渦中に置かれていて、何時事故が起きても不思議はないほどの環境である。(中略)かなり強運に助けられていたとも言える。(中略)事故は尽きない。しかし限りなく零に近づきたい。事故を起こさないために、また不幸にして事故が起きた時の対策・処置のために過去の事故例は貴重な指針となる筈である」。

私は、これを読んで感動して行こうと思ったわけではなく、まったく偶然に、全然別の視点から南極へ行こうかなと思ったら、実はおやじがこんなものを書いていたという

のを知って、ちょっと因縁めたいものを感じています。

### 十 経験によるリスク認知の違い

さて、今や皆さんはクレバスは怖いということを、私の講義を通して少なくとも知識としては知っているわけです。そうすると、クレバスの写真を見ると、こんな感じの反応になるのではないのでしょうか。「わあ、ここに線が見えていて、何か分からないけれど、これクレバスでしょう？だから怖い」。実際に私が向こうに行ったときに大学院生から聞き取りして、「これを見てどう思いますか」と言うと、「うわー、怖い」という反応でした。では、みんながそう思うかというと、実はそうではないわけです。

別の、水河の研究で世界的にも活躍されている研究者に聞くと、「私としては見えるより安心というか、比較的安心して眺められます」と言っています。同じものを見ても、全然評価が違うことが分かります。これはなぜなのか。これがまさに認知心理学的な重要な話題になるわけです。

今のは、あくまでも一つのエピソードで、ある学生がこう言った、ある研究者がこう言ったという話ですが、それをもう少し組織的に調べてみました。

タイドクラックへの転落、ウインドスクープへの転落、

ブリザードによるロストポジション、クレバスへの転落、露岩での転倒、重機や資材運搬に関わるけがというリスクが、次の一〇カ所であるかどうかを隊員に答えてもらうという調査を行いました(図8)。

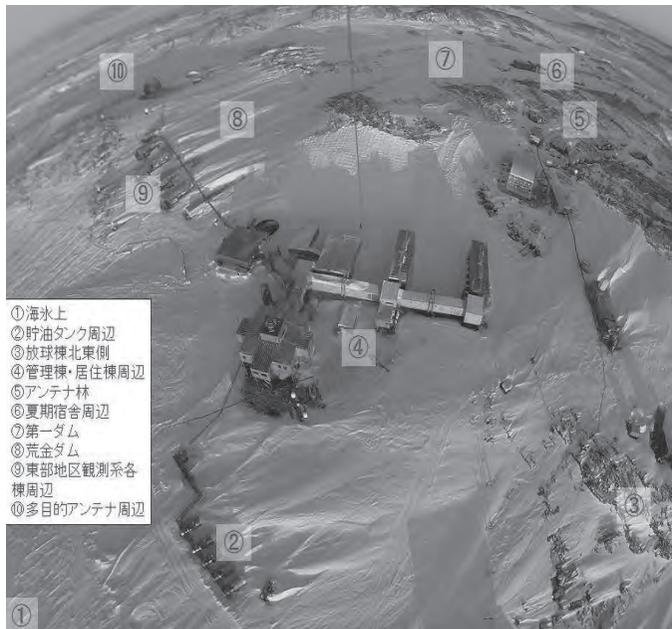


図8 隊員への聞き取り調査(リスク認知)(村越・菊池、2017)

- ①海上水
- ②貯油タンク周辺
- ③放球棟北東側
- ④管理棟・居住棟周辺

⑤ アンテナ林

⑥ 夏期宿舍周辺

⑦ 第一ダム

⑧ 荒金ダム

⑨ 東部地区観測系各棟周辺

⑩ 多目的アンテナ周辺

その結果、例えばある人は、タイドクラックのリスクは①と⑩ではある、⑨はあるかもしれない、それ以外はないと回答しています。一人一人は、もちろんばらばらな回答になりますが、これを経験者、未経験者で分類してみると、面白い傾向があることが分かりました(図9)。

ここでは、ブリザードによるロストポジションとクレバスへの転落についての回答を見ていきます。ロストポジションというのは、自分の居場所が分からなくなること、基地に戻ってこることもできません。それにより、一九六〇年に福島紳さんが亡くなっています。例えば⑩では、経験者・未経験者共に起こると想定しています。⑧⑨でも回答にほとんど差はありません。

一方、クレバスへの転落を見ていくと、だいぶ差があります。⑩では、未経験者は起こり得ると考えていて、経験者はそれほどありません。⑨では、経験者は、ほとんど誰も起こり得ると言っていないけれども、未経験者の

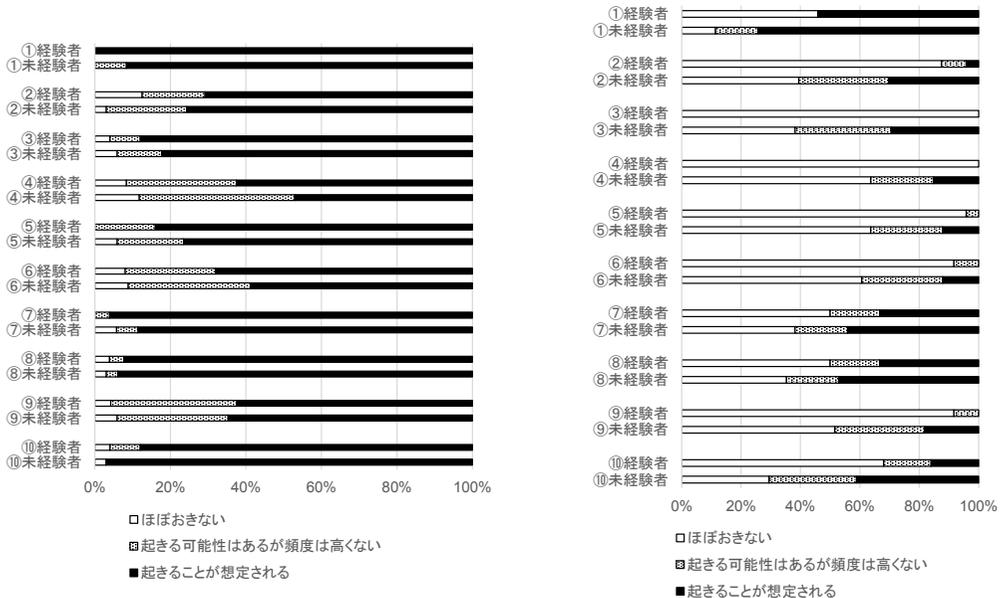


図9 リスクの有無に関する知識の実態(左:ブリザードによるロストポジション、右:クレバスへの転落)(村越・菊池、2017)

二〇%の人は起きることが想定される、さらに三〇%の人が起きる可能性があると感じています。つまり、ブリザードによるロストポジションは、どこで起こるかということに関して、未経験者・経験者で差がないけれども、クレバスの方は、未経験者・経験者でだいぶ差があるということが分かりました。

まとめると、経験者と未経験者で差があったのは、経験者はないと言っているのに対して、未経験者はあると思っているところでした。経験者があると言っているところは基本的に未経験者もあると思っていました。

そこから分かることは、単に何となく全体的に「危ないよね」「怖いよね」「リスクがあるよね」というところから、経験によって、どこそこではこのような理由のために危ないとか、どこそこではこのような理由のためにそれほど危なくないという、リスクのメリハリが分かってくるのだらうということですね。

### リスク評価のプロセス

#### 感情／理性による評価

リスクを考えるプロセスは、実はすごく複雑です。それは今日のお話を聞いていただいて、ある程度分かったかと

と思いますが、やはり、見えないものを自分の頭の中で可視化しなければいけないので、持っている知識を使って、いろいろな理由づけをしていかなければいけません。クレバスの写真を見ても、怖いという人、怖くないという人、それぞれですが、怖いという人は、いろいろな理由を挙げていることが分かります（表1）。例えば、隠れている。

雪によって覆われているので、普通だと思って歩いていたら、いきなり落とし穴に抜けてしまう。それから下部構造。クレバスがまっすぐになっていれば、まだよけようがあるのですが、オーバーハングして、内側がくり抜かれたようになってい

表1 多様なリスクの評価理由

ロープによる制御(16)	2人1組は意味がないと思ってます。だから落ちたらアウト 二人つないでいるからまず同時というのではない
隠れている(10)	見えてるんで当然その付近は気をつけるんだけど、見えてないところがありそう これ氷だと思えますのでクレバスは見えてる
足元確認(5)	できるだけ近寄らずソソデ棒で氷厚測っていかないとけない
下部構造(3)	手前で崩れないかともうちょっと用心深く動いた方がいい 側面もまっすぐストーンと落ちてますからオーバーハングしてるとちょっと怖い
幅(3)	そんなに幅がないですけどこういう幅で胸でつかえて止まっちゃった場合はかえって始末が悪く クレバスの規模も小さい
大丈夫だという経験の蓄積(1)	今までずっとこんなところ来たんで、もう大丈夫だと思って動いてるのか
物理的確認(1)	ここへ足を踏み出してるけれどもこの前でここを確認してればいいけど
事故経験(1)	同じトレースを忠実に守ってても3人目がやっぱリクレバスの強度が落ちてきて3人目が同じトレース だけど踏み抜いたっていうのはある
崩れやすさ(1)	ここらへんがこんなにクラックができるっていうことは結構崩れやすいのかな
視野外への連続(1)	こっちなんかがこれがどう続くか、ここで切れているのではないはず。この辺に行っているだろうけど、 厚みがなくて谷が広がっている
ルールの参照(3)	そもそもこういうところを歩いたらいけないような気がする こんなところ歩いていいんですかね、って感じ
研究への配慮(2)	(氷河調査だったら)、確かにリスクというからリスクの上で動いている
他者への迷惑(1)	私自身どうしようよりも、皆さんに迷惑がかかる

で、そこを踏み抜いてしまうというリスクもあるかもしれない。そんなことを言っています。このように、そのリスクがどういう構造を持っているか、どういう状況かということを知っている、その知識を使って、リスクを評価しているらしいということが分かりました。

また、南極でも、夏になると、氷河上で小川のような流れができ、それが穴に流れ込んでいます。そこに落ちたら、助かりません。四〇〇mぐらい下の海の中まで落ちていてしまいます。その近くに行ったことのある大学院生に聞き取りをしたら、「メルトポンドの先には穴があって、これは絶対に近づくな、入ってしまったらもう出られないしすぐに死んでしまうと思っていて、そんなものがあちこちに出てくるところだったので、基本的に怖い」という感情的な評価をしています。しかし、その一方で、「大きくて隠れてもいないので、気を付けて歩いて離れれば問題はないのではないか、だからゆっくり歩いていけば行ける」という評価をしています。

ここから分かることは、リスクに対する評価は、実は感情的な評価と同時に、合理的な理性的な評価があるということです。これは心理学で最近よくいわれている、人間の思考は、大きく二つのシステム(システム1、システム2)によって行われているという考えに合致しています。

システム1というのは、素早い思考です。何か見たときに、ぱっと「うわっ、怖い」などと思う、恐らく情動的な反応なのだと思います。脳の部位で言うと、扁桃体の活動が影響しているのかもしれませんが。ここはまだ仮説の段階です。一方で、システム2は、ゆっくりした思考、論理的な反応です。先ほどの大学院生のように、「このように考えれば、怖いという感情はあるけれど避けられるので、行っても大丈夫」というような、ゆっくりと論理的に考える反応があり得るということです。これは恐らく前頭野の活動だと考えられています。

リスク源についていろいろ理解が進むと、システム2によるリスクに対する考え方が生まれてきて、二つのリスクに対する評価が、人間の中では共存しているということが分かっています。もちろん、人によって感情的な評価が強い人もいれば、感情的評価はあるけれども、論理的な考え方で、そのリスクに対してこのように行動すればよいという反応ができる人もいます。

#### 安全管理隊員のリスクマネジメント

さて、このようにリスクに対する理解というものを前提にして、では実際、どのようにマネジメントしているのかということについて、安全管理の隊員から聞いてまとめま

した(図10)。

安全管理をする上で、大きく二種類の情報を使っているということが分かりました。一つは、データ、つまり過去の蓄積です。過去このような状態でしたという、蓄積されたデータです。もう一つは、オンサイト、現場での情報です。例

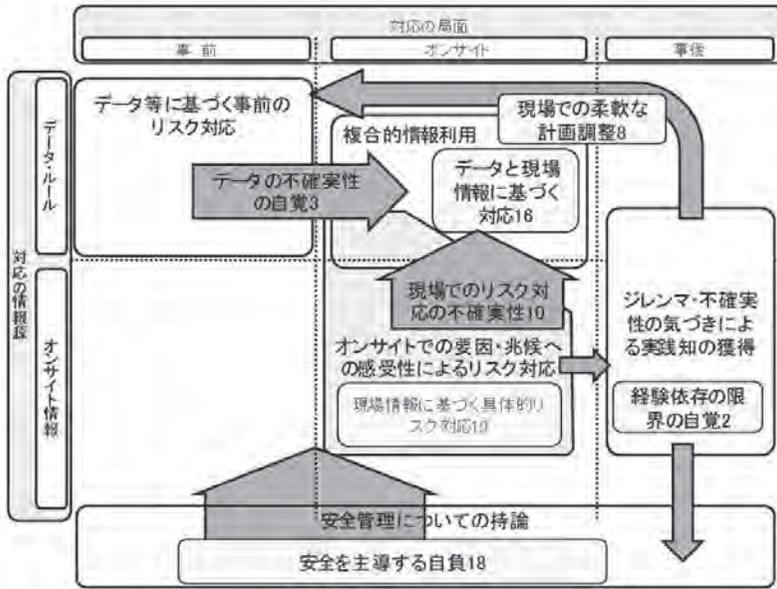


図10 多様なリスクの評価理由安全管理隊員のRM方略 (村越・満下, 2020)

えば見える、見えないとか、ちょっとでこぼこして危険なつかしいというような現場の情報を使っていることが分かりました。

そして、大事なことは、そのどちらも不確実性を持っているということです。元々のデータだって、時間がたっているから変わっていることもあります。そのとおりやっても、別のリスクが現れることもあります。一方で、現場の情報は、見たとおりだけでも、それでもやはり、その情報だけに頼っていると、対応が不確実になる。そういう考えが聞かれました。

そこで、どのようにしているかというと、その両方をうまく複合的に利用して、現場で柔軟な計画調整をしながら対応するというリスクマネジメントをしていることが分かりました。

例えば、クレバスでは比較的過去のデータが使いやすいです。これまでできていたところは、今後でもできる可能性はある、でも行ってみると見えない、隠れていることもある。だから、過去のデータは使いつつ、現場での情報、現場の様子を使って、さらに言えば、ダメージコントロール、もし落ちてもいいようにロープでつないでいく。そのような多重の情報を使い、多重の対応をして、このようなところを歩いていくことをしています。

さらに、一方で、海水上のリスクの場合、変動がかなり大きいです。場所や時期によって違います。去年はここにきていたのに、今年はこっちにできるといいうようなことでもあります。このようなリスクの場合は、もちろん過去のデータも使いつつ、でも現場の情報を最大限に活用しながら、リスクを避けているということが分かりました。

さらに、どのようなリスク源に対して、どのような時間的な局面で対応しているかを数値で表してみました（表2）。局面ごとのリスク源に対する度数は、氷河は、事前が一、オンサイトが二三、事後が七でした。海水は、事前が二、オンサイトが二八、事後が四でした。氷河と比べると、海水は事前にはほとんど何もやっておらず、現場で対応する比重が多いということが分かります。この比率を見ると、氷河と海水の違いが見えると思います。

表2 リスクの性質による対応局面の違い（村越・満下、2020）

	局面			合計
	事前	オンサイト	事後	
リスク源				
氷河	11	23	7	41
	2.4	-2.4	.6	
海水	2	28	4	34
	-2.4	2.4	-.6	
合計	13	51	11	75

ここから分かることは、海水のように、現場でさまざまな形でリスクが現れ、時間的にも場所的にも変わり、それほど致命的がない場合は、現場でうまく対応する。けれども、比較的安定している、起こる場所や致命的な程度がはっきり分かっているようなものは、事前になるべく回避して、必要なことは現場でやっていくというように、リスクの性質に応じて、対応の局面を変えているということです。

#### 「エキスパートたちのリスクマネジメントからの教訓」

以上のことから分かる、エキスパートたちのリスクマネジメントの教訓は、一つ目は、リスクの変動への着目です。リスクはどこでも同じではなく、時間的経緯によって高まったり低くなったりします。だからリスクの変動に非常に着目しているのだということが分かりました。

二つ目は、制御性の確保です。そのリスクが自分でコントロールできるかどうかの判断が、非常に重要だということです。クレバスなどでは、落ちると何十メートルも落ちてしまい、踏み抜いたら最後、大けが、死亡事故に直結してしまいます。だから、これは制御性が低いです。一方で、海水は、落ちたら、骨折ぐらいのけがはするけれども、すぐ死につながるわけではない。すぐ救助してあげれば、最悪の事態は防げる。つまり制御性が高いです。そのように、

損害が発生するプロセスを、どれぐらい制御できるかという観点で考えているのです。

三つ目は、リスクの性質に合わせた対応です。海水と氷河の違いのように、リスクの性質に合わせた対応をしているということなのです。

四つ目は、シナリオについての知識と仮想です。つまり、このリスクではどのように損害が生まれていくのか、そこにどのようなリスク増大要因が関わっているのかという知識を使って判断をしているし、場合によっては、このような条件だったらどうだろうかと、今ここにはないけれども、別の条件を考えることで生まれるリスクを仮想しています。エキスパートは、このようなことをやりながらリスクマネジメントをしているということが分かりました。今ご紹介できたのは南極だけですが、高所クライマーも、実は同じようなリスクマネジメントをしています。

そういうことを考えると、withコロナでも、地震でも、交通事故でもそうですが、幾つかのステージでのリスクマネジメントが必要ではないかと思えます(図11)。一般的にリスクマネジメントというと、何か起こる前に事前によっていくこととなります。

例えば、新型コロナウイルスに対しては、大学で言うと、休講措置、座席の指定、消毒用品の確保などになります。

個人で言うと、移動の自粛やワクチンの接種になります。でも、それではリスクマネジメントというのは終わりではなく、やはり現場に行くと、リスクが変化していくわけです。例えば、この場所です。と言うと、三密です。「ちょっと距離が近いな。だったら離れよう」。これは個人でできることです。それからマスク着用。これはもちろんです。それから手洗いをする。このようなことは現場でできることです。これがあって、初めて事前も生きてくるのです。しかし、現場は事前の条件が整っていないとできないのです。だから、事前と現場のリスクマネジメントというのは、両方が車の両輪のように必要だということになります。

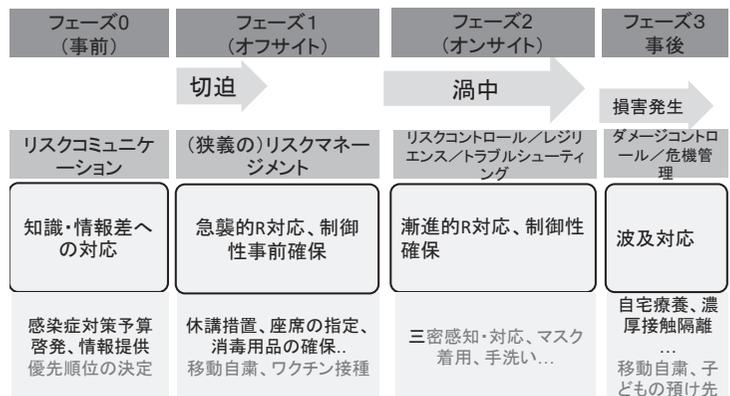


図11 リスクマネジメントの4フェーズ

もちろんリスクですから、それでも予期せぬダメージが起こってしまうことがあります。そうすると、ダメージコントロール、起こったダメージをどう危機管理していくかということになります。大学で言うと、例えば自宅療養させる、濃厚接触者を隔離することになり、個人で言うと、濃厚接触者だったら移動を自粛する、自分が濃厚接触者になったら、子どもをどうしようかということは、あらかじめ考えておくことも大事だと思います。

さらに言えば、このような局面に入る前に、そもそも国として感染症対策はどうだったのだろうか、そこに割く予算はどうだったのだろうか、市民に対する感染症の啓発は、日常的にどうだったのだろうか、われわれも何を優先して生きるべきかということ、コロナ禍になる前に考えていたのかということ、考えることができます。普段意識するのは現場の部分だと思いますが、リスクマネジメントを考えると、起こってからのこと、それから、そもそも渦中に入る前の、日常的なリスクに対する意識というものも重要になってくるといことが、研究上からも、コロナ禍を過ごす中からも分かってきたのではないかと思います。

第2回

# 化学のチカラで感染症に立ち向かう

鳴海 哲夫

## 化学とは

本日は、「化学のチカラで感染症に立ち向かう」ということで、今、世の中を騒がしている新型コロナウイルスを認識した形で、化学というものをご紹介できればと思っております。皆さんは化学 (chemistry) と聞いたときに、どのようなイメージをお持ちになりますか。化学とは、物質が何からできているか、どんな構造か、どんな特徴を持っているか、どのように別なものに変化するかを研究する学問のことをいいます。その中でも私が専門としている有機化学というのは、主に炭素原子が共有結合で結び付いた骨格を持つ物質 (有機化合物) の製法、製造、用途、性質についての研究をする学問です。

専門の話に入る前に、まずは簡単なクイズを出したいと思います。図1の六角形の化合物の名前を、皆さんご存じでしょうか。この化合物はベンゼンといいます。昔は鯨油

をランプのオイルなどに使っていましたが、その主な成分がこのベンゼンです。これ自体は、今でもまだ結構使われています。ただ、ベンゼンそのものを使うというよりは、プラスチックや樹脂、接着剤の原料、フェノール、ナイロンの製造に用いるシクロヘキサノン、ゴム、潤滑剤、色素、洗剤、医薬品など、いろいろなものの基礎になっています。



図1 ベンゼン構造式

二問目です。図2の化合物は何でしょうか。これは砂糖の一部で、グルコースという化合物です。このように、われわれの生活に化学というものがどれだけ密着しているか、実際の商品などに触れながらご紹介し、身近なところから「化学って何？」ということをご理解いただければと思っています。

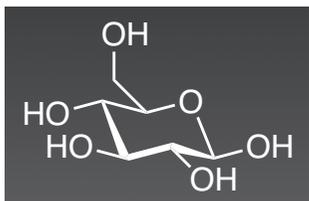


図2 グルコース構造式

## 身の回りの化学

### ＋塩と砂糖の違い

まず、塩と砂糖の違いは何でしょう。どちらも見た目は白い粉で、ざらざらしています。塩は、味はしょっぱくて、加熱しても変化しません。化学式は、 $\text{NaCl}$ と書きます。砂糖は、味は甘くて、加熱すると焦げます。化学式は $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ です。砂糖が加熱してどう変わるか、皆さん、家で実際にやってみてみたことがあるかもしれません。砂糖は一〇〇度ぐらいで加熱すると、まずシロップになります。それをさらに加熱していくとフォンダンという形になって、さらにまだ加熱するとタフィー、温度をどんどん上げていくと、最後はカラメルという黒いものになります（図3）。これは、砂糖に含まれている炭素がどんどん酸化されて、結合の形が変わっていった結果、違う形、色、味に変わっていくのです。これが化学の一つです。

塩と砂糖の違いを、もっと小さい原子と分子のレベルで見てみましょう。塩は、ナトリウムイオンと塩素イオンが、縦にも横にも後ろにも交互に並んでいます（図4）。プラスとマイナスになっていて、それが交互にずつつながっています。

ナトリウムと塩素という二つから成る塩に対して、砂糖



図3 加熱による砂糖の状態の変化  
 (出典) 精糖工業会 URL : <https://seitokogyokai.com/science/changes/>

はまったく違う形です。砂糖（シヨ糖）は、グルコースとフルクトースから成っています。単純に言えば、塩というのは石と一緒にです。石をどんなに加熱しても石は変化しません。石は石のままなのです。ですから、塩も二〇〇度ぐ

らいで加熱している限りではほとんど何も変化しません。水が飛ぶぐらいです。そのようなものを無機物といいます。一方で、砂糖は有機物なので、加熱すると変化していきます。その有機物が変化していくというのが、有機化学ということなのです。

### ＋水に溶けるということ

では、これらが「水に溶ける」というのはどういうことなのでしょう。砂糖は水に溶けます、塩も水に溶けます。「溶ける」ことを、化学では「溶媒和」といい、水に溶けることを「水和」といいます。水和は、溶質分子もしくは溶質が電離して生じたイオンと溶媒分子が、静電気力や水素結合などによって結び付き取り囲むことで溶質が水中に拡散する現象です。水の場合は、水が周りに引き合っていることです。

塩は結晶になっていて、実際に家にある塩を顕微鏡で見ると、四角い形になっているものがあります。それを水に溶かすと、元々四角い形だったものが、ばらばらになっ

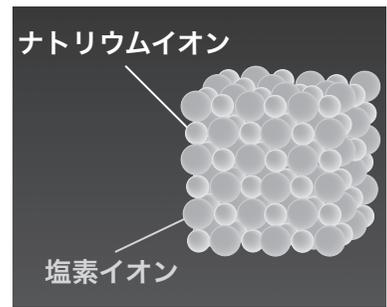


図4 塩の分子モデル

ていきます。ばらばらになったときに隙間ができるのですが、この隙間を埋めるのが水になります。水分子が隙間を埋めているような状態です。

水は、酸素と水素から成り、酸素はマイナスの電気を帯びやすく、水素はプラスの電気を帯びやすいという性質があります。塩のナトリウムイオンはプラスの性質を、塩素イオンはマイナスの性質を持っているので、それぞれ水のマイナスとプラスの部分と引き合うことによって安定化されます(図5)。間に水分子が入って、それがどんどん拡散していったら、小さくなって、見えなくなっている状態が溶けているという状態です。

この「塩は水と引き合う」ということを利用した料理が塩漬けです。料理で肉、魚、野菜などを塩で漬けますよね。

これは味が熟成されておいしくなるというのはもちろんですが、腐敗しやすい食品を長期保存するという目的もあります。食品が駄目になる理由は、食品の中に食品を腐らせる微生物が含まれているからで、それを増やさないために塩を使う

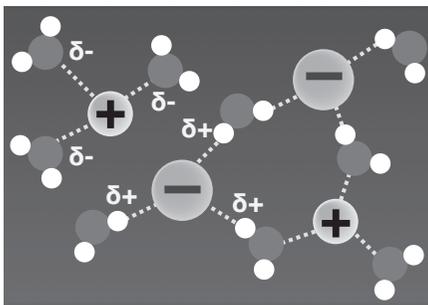


図5 塩が水に溶けた状態

のです。塩は水と引き合う性質があるので、塩をもみ込むことによって、水分が出てきます。微生物は栄養と水分と環境があつて初めて増殖するので、塩で水分を抜くことによって増殖を抑えることができます。

塩の次は砂糖です。砂糖が水に溶けるといふのはどういうことでしょうか。砂糖は、固体の状態ではグルコースとスクロースが並んでいます。水を水に溶かすと、塩と同じくばらばらになります。ばらばらになった間には水分子が入ります。砂糖にはナトリウムも塩素もありませんが、砂糖が持っているOHが、プラスとマイナスの性質を持っていて、その結果、水分子に囲まれることによって溶けるということになります(図6)。砂糖も水と引き合う性質があることが、イメージできたと思います。

先ほどは塩漬けの話をしました。砂糖漬けもありません。砂糖漬けは、腐敗しやすい果物などを、味付けや長期保存のために砂糖で処理するもので、塩漬けと同じ発想です。食べ物を腐らせる微生物には栄養と水分と環境が必要なので、砂糖で漬けることで水分を抜いてあ

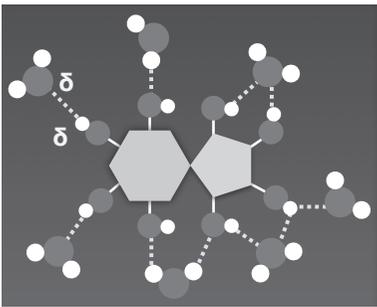


図6 砂糖が水に溶けた状態

げれば、微生物は増殖しません。その結果、長期保存できるようになります。砂糖漬けは甘くなつておいしい上に保存できるのです。塩漬け、砂糖漬けは、化学の目線で見ても、とても理にかなつた調理方法だと思えます。

#### ＋糖質とは

砂糖と塩の話をしてきましたが、もう少し考えてみると、皆さん、砂糖とお米の違いを説明できますか。砂糖は甘い。お米も甘いですね。これがどう違うのかということ。分子レベルで見ると、実は砂糖もお米も同じ糖質です。砂糖はグルコースとフルクトースが手をつないでいる形になっています。一方で、お米は三〇〇〜四〇〇個のたくさんのグルコース同士が手をつないだ形になっています(図7)。グルコースを含んでいるので、結局のところ、お米も砂糖もどちらも同じ糖質ということになります。

この糖質というのは、われわれ人間が生きていく上で必要な三大栄養素(炭水化物・タンパク質・脂質)の一つ、炭水化物から食物繊維を除いたものの総称です。特に糖質は最近注目されていて、糖質を減らす糖質制限ダイエットというものがあつて、回転ずしチェーンのくら寿司などは、お米を減らしたシャリを使ったお寿司も出しています。この糖質は、主にイモ類や穀類に多く含まれ、体や脳のエ

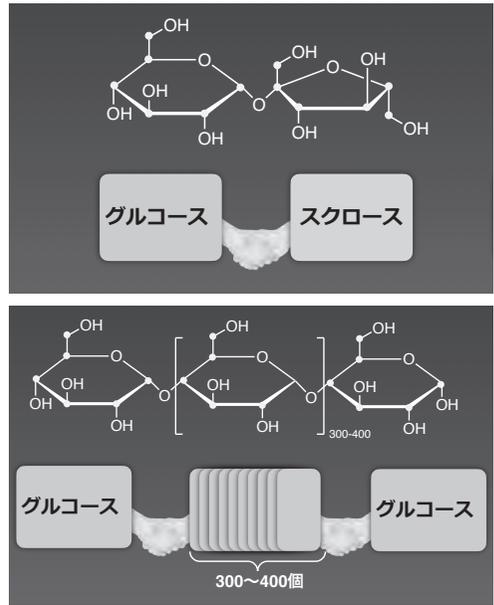


図7 砂糖（ショ糖）と米（デンプン）の構造式とイメージ図（上段：砂糖（ショ糖）、下段：米（デンプン））

エネルギー源となります。ただ、糖質を取り過ぎると血糖値が急上昇し、過剰な糖質は中性脂肪として体内にため込まれ、肥満の原因になります。

「腹持ちが良い」とは

それでは、お米と砂糖とラムネ、この中で一番腹持ちが良いのはどれでしょう。もちろん正解はお米ですが、では、なぜお米なのでしょう。

「腹持ちが良い」とは、化学的な視点では、分解に時間がかかるということです。それぞれの成分を見てみると、先ほどお話ししたように、お米はグルコースが三〇〇〜四〇〇個つながったもので、これを多糖類といいます。砂

糖は二つのグルコースが結合したもので二糖類、ラムネはグルコースそのものなので、単糖類といえます。

われわれはお米を食べたときに、どんどん分解してグルコースまで小さくした上で、栄養として取り込みます（図8）。小さくしてから体に吸収されるので、結果的には一番分解する上で時間のかかる大きいもの、つまり、多糖類が腹持ちが良いということになるのです。分解するのに時間がかからなければ、すぐにエネルギーとして使えます。

同じように、疲れたときに取る甘いものはどれがいいかというと、グルコースそのものであるラムネを取った方が栄養としてはすぐに入っていきます。特に脳はグルコースを栄養として使うので、デスクワークなどでちよつと疲れたなというときは、ラムネを取ると、脳がシャキッとすることもできません。

次は、お米とお餅、どちらが腹持ちがいいのでしょうか。一般的にはお餅の方

一般的にはお餅の方

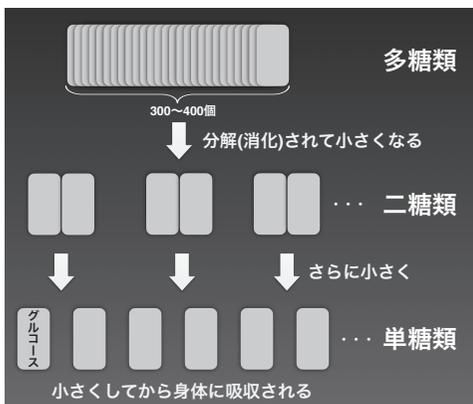


図8 腹持ちが良いとは（米（上）・砂糖（中）・ラムネ（下）の構造イメージ）

が腹持ちがいい  
といわれます。

それを化学的視  
点で見えていきま  
す。

通常のお米は  
うるち米、餅は  
もち米だとした

ときに、それぞれの成分が異なります。うるち米はグルコース三〇〇〜四〇〇個が真つすぐつながっています（アミロース）。一方で、もち米は、二〇〇〇〜三〇〇〇個のグルコースがどんだん枝分かれしながらつながっています（アミロペクチン）。そうすると、枝分かれしている方が分解に時間がかかりそうです（図9）。ですから、もち米の方が腹持ちがいいのではないかとという話になります。

#### †商品例1…フエキでんぶんのり

フエキでんぶんのりは皆さんご存じですか。なかなか特徴的な形をしていますよね。これは、幼稚園のお子さんがいるお宅にはほぼ必ずあるのではないかと思います。フエキでんぶんのりは、主原料がトウモロコシでんぶん一〇〇％です。それはどういふことなのか、また化学的に

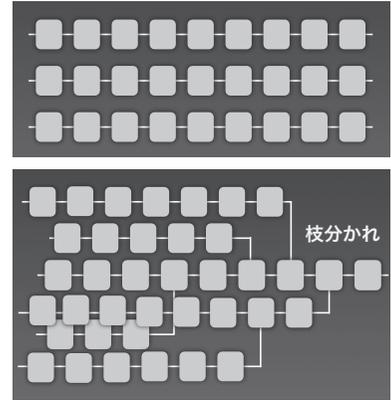


図9 腹持ちが良いとは（うるち米（上段）ともち米（下段）の構造イメージ）

見ていきたいと思いま  
す。

でんぶんを水の中に入  
れてかき混ぜると、一瞬  
分散します。溶けていな  
いけれど、懸濁している  
状態です。それをそのま

ま置いておくと、また底にでんぶんが沈殿します。一方で、分散した状態で加熱すると、とろみが出てきて、それを冷やすと真っ白に固まり、でんぶんのりになります。

それを化学的に見ていくと、でんぶん（アミロース）というのは、バネのようならせん構造をしています（図10）。バネは上下で水素結合しています。グルコース同士が結合して、水が間に入れないようになっています。それを水の中でかき混ぜても、水がただ移動するだけで、らせん構造は壊れずにそのままです。一方で、熱を加えると、そのらせん構造がほどけていきます（図11）。ほどけた結果、間に水が入っていき、で

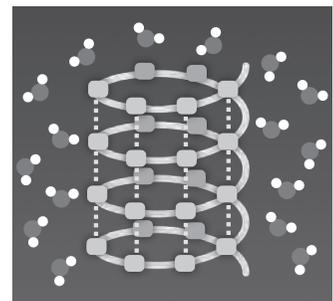


図10 水中でのでんぶん（アミロース）の構造（らせん構造）

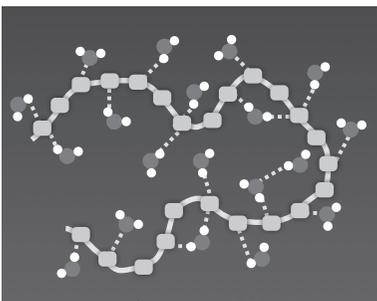


図11 加熱した状態でのでんぶん（アミロース）の構造

んぶんののりという形になるのです。

皆さん、ヨウ素ーでんぶん反応をやったことはありませんか。ジャガイモにヨウ素を垂らすと色が付くという、小学生ぐらいでやる実験です。でんぶんのらせん構造の中に、ヨウ素という分子が入っていった結果、色が付くというのがヨウ素ーでんぶん反応です。ヨウ素ーでんぶん反応は、色が付くだけではなく、その後、加熱すると色が消えるのです。加熱することによって、らせん構造からヨウ素が外れ、結果的に色が抜けていきます。これはうるち米のでんぶんでしたが、今度はもち米のでんぶん（アミロペクチン）で見えていきます。

もち米はらせん構造ではなく、枝分かれした樹状構造をしていて、グルコース同士が網目のように結合しているため、水が間に入れません（図12）。水の中でかき混ぜても、懸濁してまた元通りになります。その後、うるち米であれば加熱したら溶けませんが、もち米の場合、結合の組み替えはあっても、樹状構造のままなので、溶けません。ですから、もち米を使って

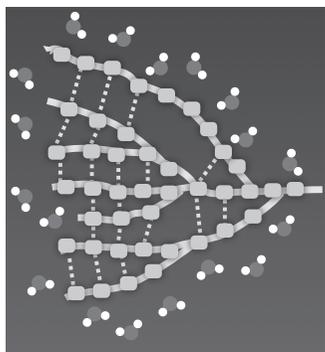


図12 もち米（アミロペクチン）の構造（樹状構造）

同じようにでんぶんのりを作ろうとしても作るのには難しいです。このことから、分子がどういう形をしているかという事実と、実際の性質が関連しているということがお分かりいただけたかと思います。

#### 十 商品例2…消臭芳香剤

皆さん、家でファブリーズを使っていますか。あれはなぜかけたらにおいが消えるのでしょうか。ちょっと不思議な話です。ファブリーズは、トウモロコシ生まれの有効成分で、おいの元の分子を取り込み、消臭するのです。トウモロコシには糖がたくさん含まれています。トウモロコシでんぶんがどのような役割をしているのかを見ていきましょう。

トウモロコシでんぶんは、うるち米と同じらせん構造です。このトウモロコシでんぶんに対して特殊な酵素を作用させると、トウモロコシでんぶんがバラバラに分解されます。ただ、先ほどのラムネのようなグルコースになるのではなく、輪っかの分子（シクロデキストリン）になります。らせん構造でグルコースが三〇〇〜四〇〇個つながっていたものから、グルコース六個から成る $\alpha$ -シクロデキストリン、七個から成る $\beta$ -シクロデキストリン、八個から成る $\gamma$ -シクロデキストリンができます。 $\beta$ -シクロデキ

ストリンを少し操作したものが、ファブリーズなどに入っている有効成分です。シクロデキストリンは「おけ」のようになっていて、中に分子を入れたり出したりすることができるのが特徴です(図13)。

ファブリーズの仕組みは、良い香りの成分がシクロデキストリンの中に含まれていて、それを放出すると輪っかの中が空くので、そこに嫌な臭いの分子が取り込まれて、結果的ににおいがしなくなるのです(図14)。これはなかなかよくできたシステムです。この輪っかの分子というのはざっくりとしたイメージです。もう少し化学的にシク

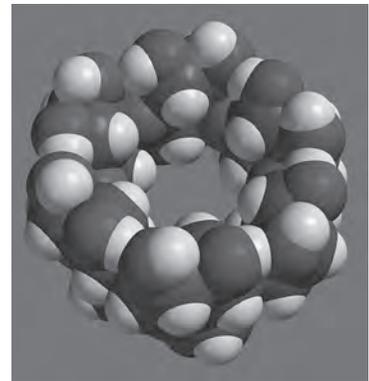


図13 シクロデキストリンの形

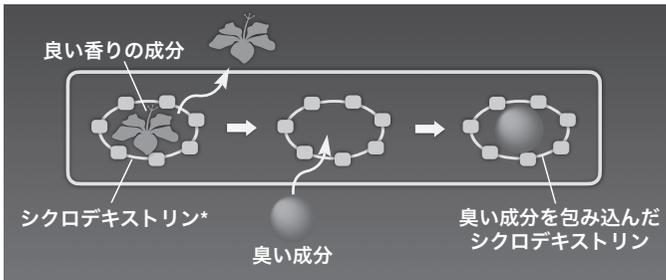


図14 シクロデキストリンの働き

ロデキストリンを見ていきます。

シクロデキストリンは、輪っかの内側と外側で性質が異なります。輪っかの外側は水と相性が良く(親水性)、水分子に囲まれやすいですが、内側は水が入っていきづらく、油が入っていきやすい(疎水性)という性質があります。良い香りの成分は有機化合物、言い換えれば油です。ということは、それは中に取り込まれやすいです。臭い成分も有機化合物です。その有機化合物が中に入っていくわけです。シクロデキストリンに取り込まれている状態ではにおいを感じないので、臭いにおいを感じなくなるのです。

#### †その他の商品例

シクロデキストリンを使うと、水に溶けづらい有効成分を溶けやすくすることができます。その性質を使ったのが、花王の「ヘルシア」や伊藤園の「カテキン緑茶」です。カテキンというのは、苦味と渋味が強いです。カテキンをたくさん入れたお茶は作ろうと思えば作れますが、苦味も渋味も強いので、とても飲みづらいです。でも、カテキンをシクロデキストリンに包接しておけば、飲むときにはシクロデキストリンの中にあるので、苦味と渋味が抑えられます(図15)。そして、体の中に入ると、シクロデキストリンからカテキンが出て、体内で働きます。

今はカテキンの例だけを示しましたが、DHCは、シクロデキストリンを使った製品が多くあります。裏の成分表を見ると、「環状糖成分」が入っているものがよくあります。シクロデキストリン（環状オリゴ糖）はサプリメントや機能性食品によく使われています。

他には、例えば抗血小板薬であるPGE1（プロスタグランジンE1）は、化合物自体が非常に不安定で、すぐに壊れやすいので、そのままでは製剤化が困難です。しかし、それをシクロデキストリンで包接すると、PGE1が保護され、分解されにくくなり製剤化できるのです。トウモロコシの成分が、実はわれわれのすぐく身近で使われているというところで、糖はすごいなと感じる瞬間です。

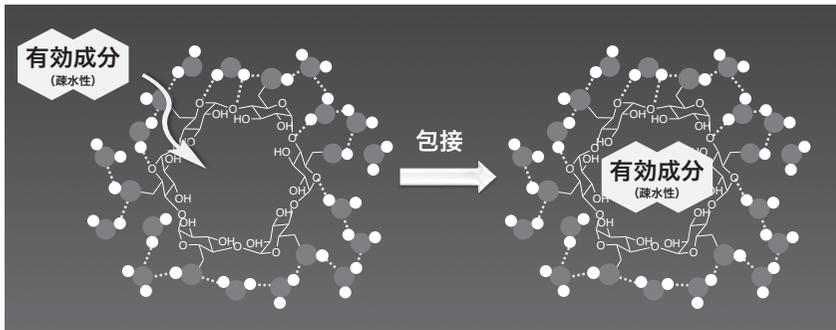


図15 シクロデキストリンの性質

## 感染症の化学

### ナタンパク質

さて、またちょっとここでクイズです。食べて眠くなりづらいのは、メロンパンとチーズパン、ツナマヨおにぎり、と梅おにぎり、サラダサンドとカツサンド、それぞれどちらでしょうか。正解は、チーズパン、ツナマヨおにぎり、カツサンドです。

体は糖分をたくさん取ると、血糖値が急上昇します。上がった血糖値は、インスリンが出て、今度は急降下するので、体はまた糖分が欲しくなります。そうすると、おなかに血が行くので、眠くなるのです。これに対して、糖分と同時にタンパク質や脂質と一緒に取ると、血糖値の急上昇、急降下が抑えられます。ですから、クイズの答えは、三つともタンパク質が多い方が眠くなりづらいということになるのです。

メロンパンとチーズパンでは、チーズにはタンパク質が含まれています。乳製品ですから、脂質ももちろん含まれているので、血糖値の上昇が抑えられます。ツナマヨおにぎり、梅おにぎりでは、梅おにぎりの方が健康的に聞こえますが、実際にはツナマヨおにぎりの方がタンパク質、脂質は含まれています。サラダサンドとカツサンドでは、カ

ツサンドのお肉はまさにタンパク質です。サラダサンドにも脂質は含まれていますが、タンパク質が少ないので、結果的に眠くなりづらいのはカツサンドということになります。

タンパク質は一般的には、鶏肉や豚肉、牛肉などの肉類、マグロやカツオ、イカなどの魚介類、卵、豆腐や納豆などの大豆製品、牛乳やヨーグルトなどの乳製品に多く含まれています。

タンパク質は、水分と脂質に次いで人間の体の構成要素で、体の約二〇%がタンパク質です。髪の毛もタンパク質です。筋肉や骨、皮膚、爪などの主成分であって、スポーツ選手にとっては欠かせない栄養素となりますが、ここからはもつと小さい分子レベルで見たいと思います。

タンパク質というのは、二〇種類のアミノ酸が鎖状に多数連結してできた生体を構成する高分子化合物のことをいいます。二〇種類のアミノ酸は、スレオニンやセリン、アスパラギン、グルタミン、グルタミン酸、メチオニン、システイン、グリシン、ヒスチジン、リジン、アルギニンなどがあります。この中には、皆さんがサプリメントで飲んでいるものもあるかもしれませんが。「アミノバイタル」などのアミノ酸が入ったドリンクに入っている粉は、バリン、ロイシン、イソロイシンの総称であるBCAA (Branched

chain amino acid:分岐鎖アミノ酸)に加えて、アルギニンなどが入っています。このようなアミノ酸自体も、われわれの体で栄養として使われているのです。

そのアミノ酸が、何個も何個も連なって大きくなったのがタンパク質です。そのタンパク質は大きく二つに分かれます。一つが構造タンパク質という細胞骨格や、クモの糸のような生物体の構造の構築に関わるタンパク質です。例えば、人毛や爪などに含まれているケラチン、骨や皮膚などを構成するコラーゲンなどです。

余談ですが、コラーゲンはお肌をぷるぷるにするとされていますよね。しかし、フカヒレを食べた翌日、肌がぷるぷるになっているというのは、別にそれを食べてぷるぷるになっているというよりは、ただ調子がいいのだと思ってください。例えばお肉を食べて、そのままお肉がすぐに筋肉にはならないですね。先ほどの糖と同じで、食べたらバラバラに分解されますから、コラーゲンを食べてもそのまま肌に行くことはありません。コラーゲンの材料は摂取できますが、体はそんなにすぐにコラーゲンを作りません。化粧品でもコラーゲンがありますが、あれは結局、保湿で良くなっているのであって、肌から直接コラーゲンが入ることはなかなか難しそうです。よく広告などで、小さいナノカプセルにして肌から入れますと言っていますが、肌

肉をこすりつけて、肉は入っていないですよ。同じく、タンパク質であるコラーゲンは、そんな簡単には入っていきません。

もう一つは機能性タンパク質で、先ほど出てきた輪っかの分子のシクロデキストリンを作る酵素などのことです。酵素や抗体、細胞内外の情報伝達、遺伝子発現の制御など、生物体の機能発現に関わるタンパク質です。ラクトフェリンやプロテアーゼ、ヘモグロビンなどいろいろあります。タンパク質はわれわれにとって、とても身近です。

例えば、ユビキチンは七六残基から成るタンパク質ですが、ユビキチンを見ると、メチオニン、グルタミン、イソロイシン、フェニルアラニン、バリン、リジン、スレオニンが連なっています。

#### † 新型コロナウイルス

タンパク質というのは、アミノ酸が結合した大きな分子だという話をしましたが、今、世の中を騒がせている新型コロナウイルスのニュースで、たまにスパイクタンパク質という言葉が出てきます。スパイクタンパク質というのは、新型コロナウイルスの表面に出ている、突起のようになっているタンパク質のことです(図16)。このスパイクタンパク質は、一二〇〇個のアミノ酸から成る高分子です。さ

らに、この一二〇〇個が一個でいるのではなく、三つ連なって三量体を形成します。非常に大きな、三六〇〇個ぐらいのアミノ酸が集まったようなタンパク質になっているのが、スパイクタンパク質です。スパイクタンパク質のアミノ酸が違うアミノ酸に置き換わることを「変異」といい、それがウイルスごとに違うので、「変異株」という表現をします。最近では、デルタ株やアルファ株という表現が増えています。ただ、少し前は、1452RやN501Y型と言っていたのを覚えていませんか。そのように言うとは分かります。アルファ株、デルタ株などの名前でも表現されています。

N501Yはイギリスで最初に検出された変異株です。この

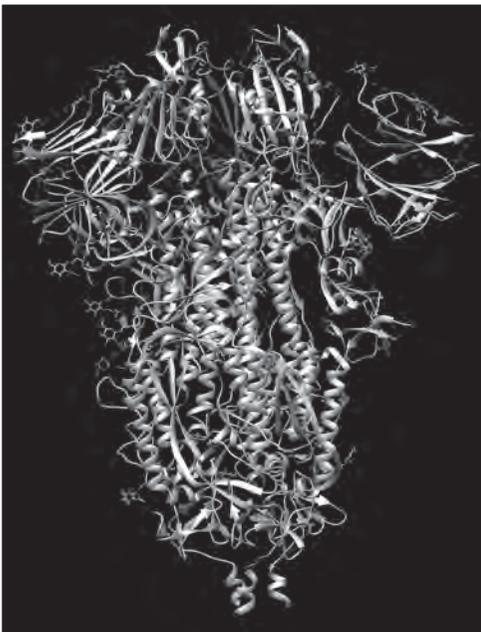


図16 新型コロナウイルスのスパイクタンパク質

N501Y株にさらにE484Kが入ると、南アフリカで最初に検出された変異株になります。N501Y株にさらにもう一個変異が入ったのが、ブラジルからの渡航者で最初に検出されたものです。というように、N501Yというのと同じだけでなく、E484Kになっているのが違いです(図17)。ウイルスは、ちょっと言い方が悪いですが、バカなのです。彼らはどんな変異していきます。ただ、変異して生き残ったものが強いのです。だから、失敗したら死んでいくだけで、生存競争に勝った

ウイルスがどんどん増えていって、結局、それが今デルタ株という形で世の中にまん延しているということなのです。L452Rがデルタ変異ウイルスといわれているものです。

B.1.617.2をデルタ変異株といいますが、それ

主な変異	感染性 (従来株比)	重症度 (従来株比)	再感染やワクチン効果 (従来株比)
B.1.1.7 英国で最初に検出された変異株	N501Y 1.32倍と推定※ (5~7割程度高い可能性)	1.4倍(40-64歳) 1.66倍(と推定※ (70歳以上の方が高い可能性))	効果に影響がある 証拠なし
B.1.351 南アフリカで最初に検出された変異株	N501Y E484K 5割程度高い可能性	入院時死亡リスクが高い可能性	効果を弱める可能性
P.1 日本でブラジルからの渡航者に最初に検出された変異株	N501Y E484K 1.4-2.2倍高い可能性	重症度に影響がある証拠なし	効果を弱める可能性 従来株感染者の再感染事例の報告あり
P.3 フィリピンで最初に検出された変異株	N501Y E484K 高い可能性	重症度に影響がある証拠なし	効果を弱める可能性
B.1.617 インドで最初に検出された変異株	L452R (E484Q) 高い可能性	重症度に影響がある証拠なし	ワクチンと抗体医薬の効果を抑える可能性

図17 新型コロナウイルスの懸念される変異株  
(出典) 厚労省新型コロナウイルス感染症対策推進本部 新型コロナウイルス変異株への対応 第8報 より抜粋

以外にもB.1.617.1やB.1.617.3があります(図18)。B.1.617.2は、G142D変異が入っている、L452R変異が入っている、E484Q変異が入っていない、P681R変異が入っているというものです。B.1.617.1はすべての変異が入っています。B.1.617.3はG142D変異以外は入っています。これがどういう意味か説明します。

L452RのLやRはアミノ酸を示しています。L452Rというのは、四五二番目のアミノ酸であるロイシン(L)がアルギニン(R)に置き換わったものという表現です。ですから、L452R株と聞くと、われわれはロイシンがアルギニンに換わったのだなと思います。N501Yは、五〇二番目のアミノ酸であるアスパラギン(N)がチロシン(Y)に置き換わったものという意味です。

ロイシンとアルギニン、アスパラギンとチロシンは形がまったく違います。少し変わっただけで、感染力がぐっと上がるのです。ただ、

	デルタ変異株		
	B.1.617.1	B.1.617.2	B.1.617.3
G142D 変異	+	-	-
L452R 変異	+	+	+
E484Q 変異	+	-	+
P681R 変異	+	-	+

図18 デルタ変異株のサブグループ  
(出典) 山中伸弥による新型コロナウイルス情報発信  
URL:https://www.covid19-yamanaka.com/cont1/43.html

結局、形が変わって感染力が強くなるかどうかというのは結果論です。ロイシンがアルギニンに変わったからといって、感染力が強くなったのだということは、われわれも分りません。感染力が強くなったという事実があって、そこからそのウイルス株の情報を見たらアルギニンに変わっていたということなので、どう変異したかということでは感染力の強弱を予測することはできません。

LAGERは、スパイクタンパク質三量体のアミノ酸、約三六〇〇個のうち、三個入れ替わっただけで、感染力が強くなっています。サッカーのゲームで一一対一一で試合をしているときに、一人プロ選手を入れたところで、そんなに劇的に差が出るかというところではありません。それなのに、三六〇〇人の中に三人だけプロを入れたら、世界で圧勝したというような状態になっているので、異常なくらい強くなっているというのが分かります。しかし、このロイシンがアルギニンに変わったことよって、どうやって感染力が強くなったかということは、まだ説明されていません。これからです。

一つの仮説としてはこんなことが考えられます。スパイクタンパク質は、細胞の表面にある何か別のものと結合して、自分のウイルス情報を細胞内に入れていきます。そうすると、タンパク質というのはとても大きい分子なので、付

いたり離れたります。例えば、私のように体が大きい人と体が大きい人の間に座ろうとは、みんな思わないですね。できれば空いているところに座りたいと思うのではないのでしょうか。それと同じで、タンパク質同士も大きい分子同士なので、できれば離れていきたいのです。スパイクタンパク質は、スパイクタンパク質の受容体であるACE2に結合して入ってきます。そのとき、スパイクタンパク質とACE2は付いたり離れたります。

この付いたり離れたりしているときに、あるタイミングで中に入っていくという仮説を立てます。ここで、ロイシンがアルギニンに換わると、アルギニンは生体内では正電荷を帯びます。すると、ACE2と結合したときに、例えば表面にアスパラギン酸のようなアミノ酸があると、プラスとマイナスで引き合うことよって、付いて離れての速さが、付いたままになり離れづらくなる。そうすると、より感染しやすくなるということもあり得ます。まだいろいろな可能性がある段階ですが、このようにアミノ酸の種類が変わることよって、それぞれのアミノ酸が持っている性質というのが変わります。その結果、タンパク質の機能が変わるという性質があります。これはあくまでも私の妄想から、こういうこともあり得ますよという話だと思ってください。

実際はいろいろなコンピュータを使った計算や、化学的なアプローチがされて、ウイルスがどうして強くなったのかが解明されようとしています。これから出てくるので、いずれもっと面白い話がたくさんできると思います。ただ、新型コロナウイルスは、皆さんご存じのようにまだ治療薬がありません。これからまだいろいろなことが分かってくる段階だと思っています。

### 化学のチカラで感染症に立ち向かう

#### † HIVとプロテアーゼ阻害剤

新型コロナウイルスに関しては、まだ治療薬も出ていないし、情報が少ないので、別のタンパク質で変異というものを見ていきます。その題材として、私が以前研究していたヒト免疫不全ウイルス（HIV）の侵入阻害剤と、HIVのウイルスを取り上げます。

HIVの中には、RNAと別に三つのタンパク質があります。この三つのタンパク質のうち、プロテアーゼというタンパク質が今回のターゲットです。ウイルスは、巧妙にわれわれの免疫システムを乗っ取ることによって、自分の遺伝子からDNAを作って、今度は自分のタンパク質をわれわれの体に作らせます。作られたタンパク質は全部連

なっているのです、それを適切な形に切っていく役割をプロテアーゼが果たします。最終的に、タンパク質の殻に閉じこもって細胞膜に包まれて、ウイルスは細胞から出ていきます。

HIVプロテアーゼ阻害剤は、日本では一九九九年にリトナビル、二〇〇〇年にロピナビル、二〇〇四年にアタザナビル、二〇〇五年にホスアンブレナビル、二〇一三年にダルナビルが承認されました。ダルナビルは非常に売れた薬です。ダルナビルはとても強い薬で、これが出たらHIVは倒せるだろうとみんな思ったぐらいなのですが、実はダルナビルでもまだ倒せなくて、その後、二〇一五年、二〇一六年、二〇一九年と、どんどん新しい薬が開発されています。HIVが最初に発見されたのは一九八〇年ごろで、ニューヨークの同性愛コミュニティのあたりで怪しい病気がはやりだした頃から三〇年以上たってても、HIVはまだ倒せていません。

ウイルス感染症に対する治療薬を開発するというのもそもそもすごく難しいのです。さらに、HIVに関して言うと、変異の速度が異常なぐらい速いです。実際に新型コロナウイルスの変異の速さと、HIVの変異の速さは比較されていないのでまだ分かりませんが、HIVはウイルスの中でもすごく変異しやすいウイルスとして知られていま

す。

さらに、われわれの体には、ウイルスなどの異物が入ってきたときに、それを倒す免疫というシステムがあります。でも、HIVは巧妙で、その免疫システムを乗っ取ってしまうので、人体は結果的に自分のものと認識して、攻撃しなくなっていくのです。その結果、体の中でぬくぬくと増えていくのがHIVです。HIVの薬は三〇年ぐらいずっと作られ続けています。去年もまだ認可されているぐらいですから、かなり長い歴史です。

ただ、初期のプロテアーゼ阻害剤はもちろん効いているのですが、今考えると飲みにくいという問題がありました。例えば、飲むと下痢や吐き気などの消化器症状が出ます。それに加えて錠剤の量が多いのです。両手いっぱい薬を飲まなければいけません。極めつけは、最低一・五Lの水を飲まなければいけません。薬を大量に飲むから、最終的に行き着く先は腎機能の低下です。そのため、HIVで死ぬか、薬で死ぬかという二択を迫られているような状態でした。ただ、当時は薬を飲まないで死んでしまうので、結局飲むしかなかったという状況がありました。その後、薬がどんどん開発され、薬自体がだんだん飲みやすくなってきました。今ではいろいろな薬を一日一錠などで飲むというぐらいです。

新型コロナウイルス治療薬の開発段階では、このプロテアーゼ阻害剤が全部試されています。ウイルスが増えていく環境、ライフサイクルはHIVと大体同じなので、新型コロナウイルスのプロテアーゼにも、このような阻害剤が効く可能性があるのです。新型コロナウイルスの前にSARSウイルスが騒ぎになったときには、HIVの薬がプロテアーゼ阻害剤として機能したというのは知られた話です。HIVの薬がSARSにも効くというのが、結構面白いなと思いました。

次に、プロテアーゼ阻害剤についてお話をします。プロテアーゼというのは、タンパク質の間を通過して、タンパク質を切って形を整えていきます。そこにプロテアーゼ阻害剤が入ることによって、プロテアーゼがタンパク質の間を通れなくなります。そうすると、ウイルスはタンパク質を切られて自分の核を作らなければいけないのに、バラバラになれない。つまり、未成熟なままウイルスになっている。だから、感染が広がらないということです。

HIVウイルスが変異すると、薬が結合するポケットという部分の形が変わったりして、元々効いていた薬が入っていけなくなります。そうすると薬が効かなくなり、HIVウイルスは増えていくことができます。それを解決するために、どんどん新しい薬を三〇年もの間、作っているの

です。

ティプラナビルというHIVプロテアーゼ阻害剤は、元々の薬に比べて動きが小さいという特徴があります。他の薬は結構ふらふらしている形なのですが、ティプラナビルというのは形が固まっているので、元のものに比べて動きが小さい。要するに、動いている状態よりも、できるだけ動きが小さい、固まったままポケットにはまる方がはめやすいのです。これできれいに結合することができるという事です。

酵素にプロテアーゼ阻害剤が結合するとき、これまでの薬は水分子を介して間接的に結合していました。一方で、水分子がそこうまくフィットしなければいけません。でも、ティプラナビルの場合は水分子を介さず、プロテアーゼに直接結合できます。どんどんより強く結合するような薬に改良されていっているというのが、ティプラナビルの特徴の一つです。いろいろな変異が入っていきませんが、ティプラナビルはそういうものに耐えられると説明されています。

HIVプロテアーゼ阻害剤のティプラナビル、サキナビル、ダルナビルなどは天然にあるものではありません。全部人工的に作っています。要するに、有機化学、化学の力がないと、このような分子は作れないのです。ティプラナ

ビル、サキナビル、ダル

ナビルなどは、元々可能性があるものをたくさん作っていった、どんどん誘導体化していった形を整えた結果、このような形になってきているという事です(図19)。ウイルスが変異したら、ポケットの形が変わるので、そのポケットにうまくはまるようなものを作らなければなりません。それに加えて、腎機能に障害が起きるとか、強い吐き気がするとか、そういうファクターをすべて整えたうえで、初めて薬品として世の中に出てくるということになります。このように形を整えるということは有機化学にしかできません。新しいものを作るというのが化学の力だと思っています。

### ペプチド

HIVウイルスが細胞に入るのを抑える薬がペプチドです。例えば、enfuvirtide (Fuzeon, T-20) はアミノ酸三六

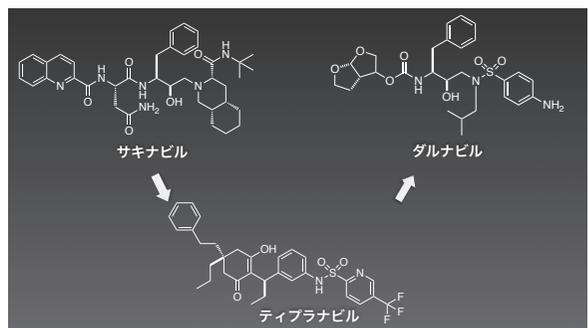


図19 HIVプロテアーゼ阻害剤の構造的

個からなる薬です。こういうものをペプチドといって、分量が中間ぐらいということになるわけです。

そのペプチドの特徴を見ていききたいと思います。従来の医薬品が抱える課題を克服する中分子創薬が、一〇年ぐらい前から注目されています。

低分子医薬品には、例えばアスピリンがあります。アスピリンは化学合成が簡単で、品質管理も簡単です。生産コストも、薬価も安いです。経口投与も可能です。ただ、副作用を起こしやすいという問題があります。日本の薬ではバファリンなどに含まれています。一回ぐらいいは飲んだことがあるのではないかと思いますが、アスピリンは柳の樹皮から出てきたもので、柳で作られたつまようじが、かつて痛み止めとして使われていました。アスピリンは、ベンゼン環とカルボキシ基とアセトキシ基が付いたものです。次は高分子医薬品や抗体医薬品の大きさの違いを見ていきたいと思えます。

高分子医薬品は分子量が大体一五万で、もっと大きいものもあります。これは標的特異性が高く、副作用もほとんどないと言われています。効くものには非常に効く、いい薬です。ただ、問題になっているのは、生産管理が煩雑で、適応疾患もそれほどないということです。さらに、生産コストがかかります。ということは、薬価が高いということ

ですから、一回数百万円にもなるわけです。

低分子医薬品と高分子医薬品には、それぞれ良いところ、悪いところがあります。低分子と高分子の大きな違いは、分子の大きさで、抗体医薬品はアミノ酸の集合体です。アスピリンは分子量が小さいですが、タンパク質に近づき、結合することによって痛みを抑えるというスーパースターです。イメージで言うと、高分子医薬品は細胞ごと結合するとか、体に悪いタンパク質を抱き込んでつぶしてしまうようなイメージですが、低分子医薬品は、突進してくる牛のようなものを、指一本で止めるようなイメージです。だから、低分子医薬品、皆さんが薬局で買えるようなOTC医薬品は、本当に全部スーパースターです。小さくて飲みやすいものがやっと市場に出て、OTC医薬品として売られているということです。

さらに、低分子医薬品と高分子医薬品のいいところ取りができる分子がないかということで、今、ペプチドや核酸医薬品が注目されているのです。それが中分子医薬品といわれるものです。中分子医薬品の分子量は五〇〇〜四〇〇〇といわれています。低分子に比べればそれなりに大きいし、高分子に比べれば小さいけれど、点で抑えるのではなく、面で抑えられるだろう、結合できるだろうということなのです。

### †ペプチドの医薬品としてのポテンシャル

ペプチド自体の医薬品としてのポテンシャルについては、適応できるものが多いだろうといわれています。従来は、低分子医薬品では標的にすることができない受容体にも結合するため、開発対象の領域としては、がんや糖尿病、感染症、脳神経なども狙っています。さらに、完全化学合成することができずから、バイオテクノロジーを利用する高分子医薬品で問題となる製造コストを抑えることができるだろうといわれています。化学的に作ることもできるということは、いろいろな技術を使って、形をさらに整えることができるということです。つまり、理論上、より良い薬を無限に作れる可能性があるということになります。それによって、選択性や安全性が向上します。実際に、経済効果も非常に大きいといわれていて、このような薬を開発することができれば、世の中にいろいろな意味で貢献できるだろうといわれています。

ただ、このペプチドに関しても問題があり、ペプチドは体の中でバラバラになるのです。単純に言えば、ペプチドというのはタンパク質の小さいものだと思ってください。例えばお肉。肉は口から食べると分解されて、アミノ酸になって栄養として体に吸収されます。小さい肉も口から食べると分解されるということは、分解されないから体の中

で薬として効くのに、分解されてしまうと薬として効かないということになります。つまり、結果的には口から飲めないということですね。それでは毎回、注射を打たなければいけないことになります。がんや感染症になったときに、一回注射を打つぐらいだったらまた受け入れられますが、ちよつと風邪を引いたぐらいで、毎回注射を打たなければいけないとなったらたまりません。ですから、できれば経口投与できるアプローチが求められます。

### †ドラッグデザイン

では、どのようにして形を整えていくのかというのがドラッグデザインの基礎ということになりますが、バイオイソスター（生物学的等価体）というものを使います。バイオイソスターは、分子の大きさ、形、電子的性質などが似通った官能基群です。例えば、ベンゼンに窒素原子（N）を入れたり、硫黄原子（S）を入れたりして、形の違うものに変えていくということです。バイオイソスターによる構造変換で、分子の化学的性質が変化します。

われわれが実際にやっているのは、アミド基を変えていくものです。これにより生物活性を維持したまま、物性（溶解性・安定性など）や薬物動態の改善（代謝安定性・吸収性など）が期待できると考えられています。先ほどのペプ

チドが、分解されて切れるという問題を解決するために、切れるものを切れないようにするアプローチを、われわれは研究しています。ペプチドが連なっているアミド結合を、似たような形をしたアルケンに変えます。そうすると、元々切れてしまうものが、まったく違う形になります。しかし、構造的にはそっくりなので、切れなくなることでいろいろな化合物を開発しています。

別の研究者がやっている研究でいうと、アルケン型ペプチド結合等価体を利用した、DPP4阻害剤があります。酵素によって簡単に切れてしまう部分を、似たような形のフルオロアルケンというものに変えると、酵素による加水分解反応が起きないので、生体内の利用率が一〇倍以上向上することが報告されています。ですから、バイオイソスターに変えることで、加水分解耐性が大きく向上するということになります。

### †アミロイド病（アミロイドーシス）

一例として、われわれがやっているアミロイド病について、最後にお話ししたいと思います。アミロイド病とは、タンパク質が異常凝集することで、線維状のアミロイド線維が全身のさまざまな臓器に沈着し、機能障害を起こす病気です。代表的なものは、アルツハイマー病（アルツハイ

マー型認知症）です。アルツハイマー病は何が起きているかというところ、アミロイドβといった前駆体タンパク質が酵素によって切り出されます。これは、元々はバネのような形をしているのですが、異常凝集すると、塊になります。

それがさらに異常凝集すると、シミ（老人斑）になり、これが脳の中にたくさんできるので（図20）。事実として、アルツハイマー病にかかった患者さんの脳内に、このようなタンパク質のシミがたくさんあるということまでは分かっています。それが病気の原因になっていると考えている人もいますが、そのあたりはまだはっきりしていません。ただ、こういうものを対象とした薬は、たくさん開発・研

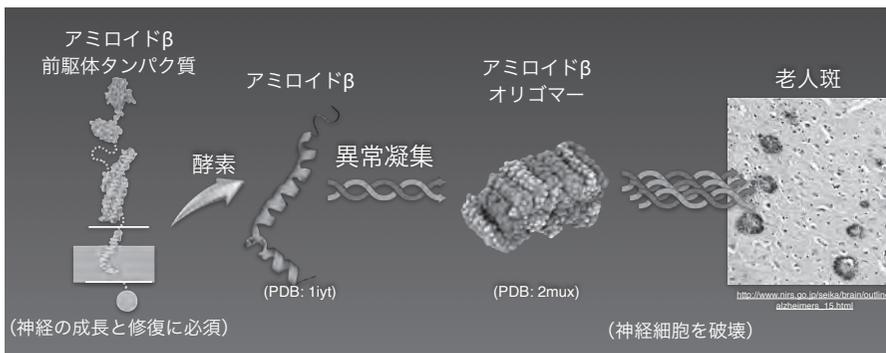


図20 アミロイド病と線維状タンパク質

究が進められています。

老人斑と神経原線維変化という二つのタンパク質を見ると、それぞれがペアになった線維になっています。タンパク質が連なって、二本の線維が折り曲がる形で伸びているのが paired helical fiber<sup>β</sup>、その上下をつないでいるのが水素結合です。アミロイドβは平衡状態にあるといわれていて、元々普通の形をしたものが、異常な形になって線維化します。このいくつか集まったオリゴマーという形が一番、神経毒性が高いと言われていますが、平衡状態にあるものがどのように機能しているのかが実は分かっていないので、分子的な技術でどういことができるのかを、われわれは研究しています。

βシート構造を見ると、タンパク質をつないでいるの間に水素結合があるので、水素結合を弱めたらどうなるかを研究しています。異常凝集して線維になるので、置換すると、元の形になるか、まったく違う形になるか、そもそも凝集阻害になるのかを見ました。

やってみると面白い結果が見えてきて、例えば、元々のものは真つすくな線維になりました。その一部分をわれわれの得意とする分子技術で変換すると、線維がねじれて、形が変わりました。さらに、塩素をメチル基に変えると、今度は線維ではなく、まったく別の形の油の塊に変化しま

した。この三つの形の違いは、水素結合ができるか、できないか、または強いか、弱いからです。つまり、アミロイド線維の病気になる原因といわれているタンパク質の分子の形を、有機化学的に変えることで、その機能を制御することができるといことが分かってきています。現在、どのようにこれが形を制御しているのか明らかにするために、より詳細な研究を進めています。

われわれの研究グループは、今は私を含めて一七人です。研究費をいただいて、研究させていただいています。本講演会を励みに、静岡大学発（初）の医薬品・診断薬の開発を通じて、わが国の健康と福祉に貢献できるよう努力していきたいと考えています。

第3回

# ネットのリスクをどう教えるか

塩田 真吾

## はじめに

今日の全体のテーマはリスクですが、私からは「ネットのリスクをどう教えるか」をテーマに、リスク教育の側面からお話ししてみたいと思います。

私は二〇〇九年に静岡大学に着任し、十三年間大学で研究しています。専門分野は教育工学や情報教育、特に情報モラルです。背景にあるのはリスク教育で、リスクをどう教えていくかといったことを研究分野にしています。

## † 研究紹介

私の教育工学研究室は、大きく言えば現代的・社会的課題をどう教えるかを大きなテーマとしています。学校教育という点、例えば国語、数学といった教科教育をどう教えていくのかというイメージが強いと思いますが、今、学校教育では、教科教育以外のことを教える必要もあるのです。

例えば、情報通信技術（ICT）、環境問題、キャリアなどの現代的・社会的課題です。そういったものは特に教科書等が決められているわけではなく、教科書に沿って教えていくという形ではないので、そのような分野に関して、どのように効果的に、かつ効率的に教えていくかというところが、大きな研究テーマになります。

その中で、われわれが一番の専門にしているのが、情報モラルです。今、学校では、情報モラル教育が必ず行われています。情報モラルというのは、情報社会で適正に活動するための基となる考え方と態度のことです。平たく言えば、子どもたちがネットやSNSなどの危険に巻き込まれずに、上手にそれらを活用できるようにするためにはどうしたらいいかを研究する学問領域になります。今日は情報モラル、特に情報のリスクについて扱いたいと思います。情報のリスクはさまざまあるわけですが、それをどう伝えていけばいいのか、それが話のメインになります。

従来、ネットのリスクの教え方は、大体がトラブル事例を紹介して「こういう怖いことがあるんだよ。気をつけなさいね」というものでした。これは情報モラルに限らず、リスク教育全体においてそのように教えることが多いのですが、それで本当にリスクに気をつけられるのでしょうか。

### ヒューマンエラーはなぜ起こるか

#### ＋思い込み

では早速、皆さんに考えていただきたいと思います。われわれの研究室では、ヒューマンエラー（人によるミス）を研究しています。気をつけようと思っけていても、人のミスというのは起きてしまうものですが、なぜ起きるのか、アイスブレークのクイズをやってみましょう。

日本国内で一番店舗数が多いのは、コンビニか、歯医者か、美容院かと言われたら、どれだと思えますか。まずコンビニから考えてみましょう。増減はありますが、コンビニは国内に約五万六〇〇〇店舗あります。それに対して、歯医者実はコンビニより少し多くて、約七万軒あります。では美容院はどうかというと、皆さん想像がつくでしょうか。約二五万店舗です。美容院は圧倒的に多いので、正解は美容院です。

コンビニか歯医者ではないかと考える方が多いのですが、それは割と当たり前の話で、やはり人というのは、よく見るものを多いと思ってしまう傾向があります。特に、コンビニは街中で目にする回数が多いので、実際の店舗数としても多いのではないかと「思い込み」が生まれてしまうのです。

この「思い込み」というのが、ヒューマンエラーのひとつの要因だといわれています。例えば「自分が楽しい気持ちで送ったら、相手も楽しい気持ちで受け取ってくれるだろう」というのも思い込みですし、「たかさんの人が言っているから正しいだろう」と思っても、実は一つ二つのツイートをみんながリツイートしているだけだったという思い込みもあるので、こういった思い込みというものに着目しながら、われわれはリスク教育を考えています。

### SNSをめぐるトラブル

#### ＋トラブルの種類

小・中・高校生を対象とした、SNSをめぐるトラブルは、大きく八つに分けられます（図1）。

一つ目は、悪口・いじりです。コミュニケーションに関するトラブルです。

二つ目は、不適切情報の発信です。悪ふざけの写真やデータの書き込みなどの、SNSでの発信による「炎上」です。ニュースでも「炎上」という言葉をよく聞きます。三つ目は、不適切サイトの閲覧です。性的描写や暴力表

- 1 悪口・いじり**  
  
グループトークでのいじりや無視、短文の意味の取り違いによるケンカ
- 2 不適切情報の発信**  
  
悪ふざけの写真やデマの書き込みなどの SNS での発信による炎上
- 3 不適切サイトの閲覧**  
  
性的描写や暴力表現など青少年にふさわしくないサイトを見て、過度な影響を受ける
- 4 著作権の侵害**  
  
無許可の映像や音楽のアップロードや、違法と知りながらの音楽や映像のダウンロード
- 5 知らない人との出会い**  
  
SNS で知らない人から会うことを求められたり (誘い出し)、自分の画像を送ることを求められる
- 6 高額課金**  
  
たくさんのお金を使って、ゲームのアイテムなどを購入してしまう
- 7 長時間利用**  
  
ゲームや動画、SNS の使い過ぎで体をこわす
- 8 不正なアプリのインストール**  
  
不正なアプリのインストールによる個人情報の流出や遠隔操作による被害

図1 SNSをめぐるトラブルの種類  
(出典) LINEみらい財団「楽しいコミュニケーションを考えよう」 URL:<https://line-mirai.org/ja/>

現などを見てしまうということです。

四つ目は、著作権の侵害です。勝手にテレビ番組をアップロードしてしまったり、CD音源をアップロードしてしまったりということがあります。

五つ目は、知らない人との出会いです。

六つ目は、高額課金です。たくさんのお金を使って、ゲームのアイテムなどを購入してしまふことです。

七つ目は、長時間利用、時間の使い過ぎです。

八つ目は、不正なアプリのインストールです。ウイルスに感染してしまうことも含みます。

### ＋リスクマップ

こういったトラブルのどれが多いのか、特にどれに気をつけなければいけないのかということを考える際に、われわれの研究室では、リスクマップというものを作っています。

従来はトラブルの発生頻度しか見ないことが多く、発生頻度を見て、「トラブルで一番多いのは悪口だ」となるのですが、悪口といっても、本当に些細な悪口から深刻な悪口まで、段階があるのです。そうすると、発生頻度だけ見ていると、トラブルの実態がなかなか分からないということで、われわれは、小・中・高校生六〇〇〇人を対象に、

トラブルの頻度と深刻度を聞いてリスクマップを作りました。深刻度は大・中・小に分けられ、大は生活に大きな影響があったり、犯罪につながったりするもの、中は子どもだけではすぐに解決できないようなトラブルにつながるもの、小は軽微です。発生頻度を縦軸に、深刻度を横軸に、三段階で取ったものをマップ化しています(図2)。

例えば、中学生のリスクマップを見ると、発生頻度も深刻度も高いものは、「スマホやネットを使って勉強や生活に大きな影響が出て自分ではやめられなかった」です。こう回答している人が、中学生の三三・八%います。三人に一人ぐらいは、長時間利用が深刻な問題になっているということ

が分かります。他には、「メッセージのやりとりで『死ぬ』『殺す』などの相手を強く傷付ける言葉を使った」というコミュニケーションの問題、「自分や友だちの住んでいる場所が特定される可能性がある写真や動画を公開した」が上位に来ています。特に、使い過ぎやコミュニケーションは、中学生では深刻度が高く、発生頻度も高いものになるので、注意が必要になってくると思います。

まとめると、特に小・中学生に多いトラブルは、コミュニ

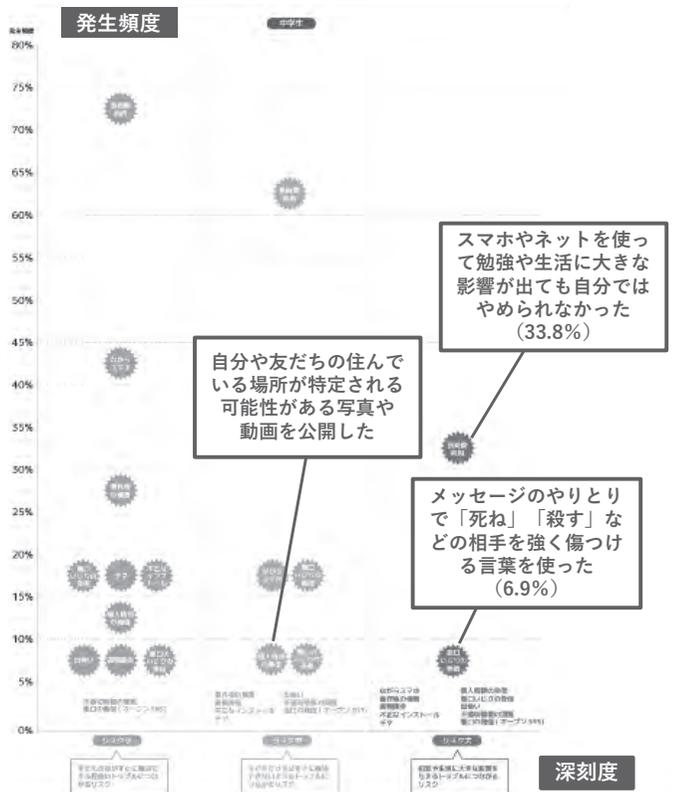


図2 トラブル頻度×深刻度のリスクマップ (中学生)

ニケーションに関するもの、個人情報に関するもの、使い過ぎに関するものになります。発達段階が上がってくると、個人情報に関するトラブルも増えてきます。

### 情報モラル教育の課題

#### ※ありがちな指導方法

では、こういったトラブルをどうやって防いでいけばい

いのでしょうか。従来、子どもたちがどのような情報モラル教育を受けてきたかというところ、トラブル事例をたくさん見せて怖がらせ、「気をつけなさい」と言われるのが一般的で、最もポピュラーなやり方でした。しかし、トラブル事例をたくさん見せて怖がらせるというのは、二つ大きな課題があります。一つは、怖がらせたところで効果が短いことです。私たちもよく自動車の事故の映像をたくさん見せられて、「このような事故があるから、気をつけなさいね」と言われます。その瞬間はすごく怖いと思うのですが、だんだん忘れていってしまいますから、怖がらせたところで効果は短期的なのです。

もう一つは、こちらの方が深刻ですが、トラブル事例をたくさん見せて怖がらせても、「それは自分には起きないだろう」と思ってしまうことです。トラブル事例を起こす人というのは自分よりも愚かな人たちで、まさか自分がそんなトラブルなんて起こさないうらと思ってしまうのです。トラブル事例をたくさん見せて怖がらせることで、逆に「自分は大丈夫」というバイアスを掛けてしまっている可能性もあるのです。

これは情報モラルだけではなく、他のことにも言えるかと思えます。例えば、振り込め詐欺の事例をたくさん見せて、「振り込め詐欺、怖いですよ。気をつけなさいね」

と言われても、「振り込め詐欺で出てくるような事例は、自分よりも愚かな人たちがやられた事例だから、自分は大丈夫だろう」と思ってしまうのです。同じように、映像教材を見せて、トラブル回避方法について考えさせたとしても、「まあ、主人公みたいなトラブルになって遭わないだろう」と思ってしまうのです。

#### 十 問題を自分のこととして自覚する

リスク教育の大きなポイントは、「問題を自分のこととして自覚できているのか」ということです。つまり、「自分は大丈夫だろう」と思ってしまうというのが、リスク教育の一番大きな課題なのです。

例えば「ネットで悪口を言わないようにしなさい」「ネットで嫌なことをしないようにしなさい」と言われたとしても、「そんなの当たり前だし、自分は大丈夫だろうな」と思ってしまうのです。親が子どもに伝えるときも、先生が子どもに伝えるときもそうですが、トラブル事例を紹介して「使い過ぎないようにね」「悪口を言わないようにね」と言えば、みんな声をそろえて「はい、自分は大丈夫です。そんなの当たり前です。守ります」と言いますが、それは自分がそんなことをするだろうとは思っていないからなのです。

指導のポイントは、問題を「自分のこと」として自覚させ、

安易な結論を与えず、どのように対応すればよいか、さまざまな状況で考え続けさせる（トレーニングさせる）ことです。

#### LINE株式会社との共同研究

私の研究室とLINE株式会社は二〇一四年から、リスク教育における、特に情報モラルにおける自覚を促す指導について、ずっと共同研究してきました。この共同研究の成果を皆さんにご紹介しながら、この「自覚」について、試していただきたいと思います。皆さん、考えてみてください。ネット上で「人の嫌なことするなよ」と言われたら、われわれは大人ですし、人の嫌なことなどしないだろうと思うのですが、それは本当でしょうか。

五枚のカード教材を、職場の同僚や友だちからされて嫌な順に、左から並べてみてください（図3）。一枚目が「すぐに返信がない」、二枚目が「なかなか会話が終わらない」、三枚目が「知らないところで自分の話題が出ている」、四枚目が「話をしているときにケータイ・スマホを触っている」、五枚目が「自分が一緒に写っている写真を公開される」です。並べてみて、「ここからは絶対に嫌」というところがあれば、線を引いてみてください。

皆さんの結果を見ると、人によって結構ずれていると思



図3 カード教材を用いて問題を自覚させる

います。当たり前ですが、嫌なこと、特に絶対に嫌なことというのは、人によって違います。嫌なことが人とまったく一緒というのはなかなか考えられず、絶対に人によって違ってくるのですが、これをやることによって、実は嫌なことが違うというだけではなく、どういうトラブルが起きる可能性があるかということも、予期することができるようになります。このようなカード教材を使うと、二人の間や、その知っている人たちとの間でどういうトラブルが起きそうなのかを考えることができます。

例えば、コニーとジェームズの間で同じような並べ方をしてもらったら、コニーは「自分が一緒に写っている写真を公開される」が絶対に嫌で、ジェームズは「すぐに返信がない」が絶対に嫌で、「自分が一緒に写っている写真を公開される」は嫌ではありませんでした（図4）。ジェームズが、「僕はすぐに返信がないのは絶対に嫌で、自分が一緒に写っている写真を公開されるのが嫌ではないから、コニーもきっと嫌ではないだろう」と思ってしまつと、コ

ニーにとってはそれが一番嫌なことなので、こういうときにトラブルというのは起きやすくなるのです。つまり、嫌なことにズレがある場合が、トラブルが起きやすいときになります。

われわれは、このような形で自覚を促す教材を作成しています。

このようにカードにしてズレを比較することを、「カード分類比較法」と言っています。「悪口を言わないようにしなさい」「使い過ぎないようにしなさい」ではなく、カードにしてズレを見ることによって、「もしかしたら、自分も相手にとって嫌なことをしてしまうかもしれない」と考えることができます。

このカードを、ぜひご家庭でもやっていただきたいと思います。自分の親しい人とやってみると、意外とズレが分かって、「私は話をしているときにケータイ・スマホを触っ

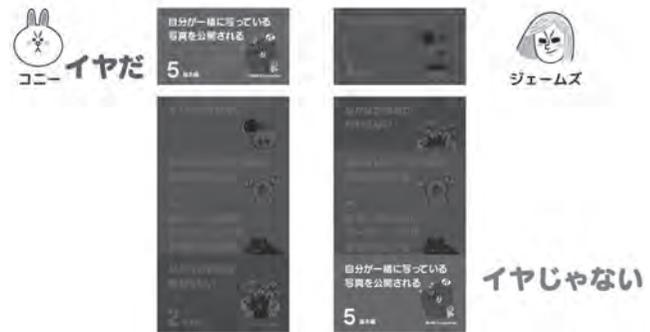


図4 教材を用いてズレを自覚させる

ているのは別にどうでもよかったけど、この人はすごく嫌なんだ」ということに気づくのです。それがトラブルへの自覚というものになります。

他にも、例えば「不適切な写真を公開しない」という指導でも、「不適切な写真とは何か」ということがズレやすいです。つまり、私がこれを不適切ではないと思っても、友だちはそれを不適切だと思うかもしれないし、私と友だちはそれを不適切ではないと思っても、社会がそれを不適切だと思えば、炎上につながるわけです。「不適切な写真を公開しない」という指導ではなく、「不適切な写真とは何か」ということを考え、そのズレを確かめておく、それにもカード分類比較法が使えます。

#### † 指導のポイント

先ほど、コニーとジェームズにトラブルが起きる可能性があるという話をしましたが、従来、学校教育では、「自分がされて嫌なことは相手にもしないようにしよう」と言われてきました。皆さんも多分、言われたり、言ってきたりしたのではないかと思います。われわれの分野から言うとうと、自分がされて嫌なことは相手にもしないというのは、結構危うい指導なのです。この背景にあるのは、「自分がされて嫌なことと相手がされて嫌なことは同じだろう」と

いう認識ですが、そのような思い込みがあると、コニーとジェームズのようなトラブルが起きやすくなるわけです。

「自分がされて嫌なことは相手にもしない」というのは、自分がされて嫌なことと、相手がされて嫌なことが同じだろうという思い込みを強化してしまうので、それよりも、「自分の嫌なことと相手がされて嫌なことは違うのだ」ということを認識させておく、これがコミュニケーションラブルを防ぐための大きなポイントかと思っています。ここでは自覚を促す指導というのを、ぜひ押さえていただきたいと思っています。

このような教材は、学校関係者や家庭でも使えるように、無料でダウンロードできるようになっています。「楽しいコミュニケーションを考えよう」「SNSノート」で調べていただくと、私どもの研究室のホームページや、LINEみらい財団のホームページからダウンロードできるので、もし誰かに指導する場合には、ご活用いただければと思います。

## 情報セキュリティ教育の課題

次は情報セキュリティです。情報セキュリティ教育ではよく、「あやしいサイト、あやしいアプリに気をつけましょ

う」ということが言われます。しかし、これをよく考えてみると、あやしいサイトやあやしいアプリに気づくことができれば気をつけられるわけで、少し矛盾しています。むしろ、あやしいサイトやあやしいアプリが分からないから、気をつけられないのです。皆さんは、あやしきを見抜くことができるでしょうか。

### ＋指導例

スマホの画面が描かれた七枚のカードをご覧いただきたい、それぞれあやしいかあやしくないか、あやしいと思えば、どこがあやしいのかということも含めて考えていただきます。

一つ目、「ゆうや」という人から、「久しぶりー！ フォローよろしく！ あとこの動画メチャおもろいよ」というメッセージと共にURLが送られてきました(図5)。こういった迷惑メッセージは、下の名前を表示することによって知り合いを装い、「もしかしたら鈴木ゆうやさんかな」「斉藤ゆうやさんかな」と思わせませう。こういったもので特に注意が必要になるのは、リンク先が載っているものです。もしかしたら、本当の鈴木ゆうやさんや斉藤ゆうやさんかもしれません、リンクが載っていたら「これはちよつとあやしいかな」とまず疑うことが先決になりま

す。もしかしたら、本当に面白い動画につながるかもしれませんが、一方で、架空請求サイトなど全然違うサイトにつながるかもしれないので、そういったものにぜひ気を付けていただきたいと思います。ということ、これはあやしいと考えていいでしょう。

二つ目は、「お使いのiphoneは、データ容量がいっぱいです。OKを押して最適化してください」というポップアップです(図6)。スマホを見ていて、ぼんつと出てくるものをポップアップといいます。「データ容量がいっぱいです」「ウイルスが見つかりました」「今すぐスキャンしてください」などが出てきたら、「これはちょっとあやしいな」と考えることがポイントになります。これでOKを押してしまうと、勝手にアプリのインストール画面や、違うウェブサイトにアクセスしてしまうかもしれません。



図5 情報セキュリティ教育の指導例1  
迷惑メッセージ

こういったものを見抜く際に、一つポイントがあります。正規の表現かどうかを考えることが大切です。例えば、これを見ていただくと「お使いのiphoneは」と書いてあります。この「iphone」という表記が、本当はこの表記でないのが分かりますか。正規の表現では「iPhone」となりDは大文字です。本当にiPhoneのOS (Operating System) 側が出しているのであれば、この表現を間違えることはない、表現が違うことも判断基準の一つになります。

三つ目は、古いアプリのインストール画面です(図7)。アプリのインストールで見るとべきポイントは三つあります。まずはレビューや評価の数です。どれぐらいの人が使っていて、どれぐらいの人が、どんな感想を述べているかをチェックする必要があります。二つ目は最終更新日です。アプリ自体が古いのか新しいのか、更新していないという



図6 情報セキュリティ教育の指導例2  
ポップアップ

ことは、それだけセキュリティ対策等もされていないということになるので、あまりにも古いものは注意が必要です。三つ目はアクセス許可です。この表示はOSによって変わるのですが、スマホのどの情報にアクセスしようとしているのかです。この場合は、位置情報と電話帳へのアクセスを求めています。なぜ占いのアプリなのに、位置情報や電話帳が必要なのかということを考えてみて、最終更新日も二〇一六年とやや古いと考えると、「ちよつとあやしいかもな」と考えていただく方がいい気がします。

レビューも高ければ必ずいいというわけではなく、高過ぎてサクラの人、わざと書いている、うそを書いている人がいるかもしれないということも踏まえて判断します。レビュー、最終更新日、アクセス許可を総合的に判断するのがいいと思います。



図7 情報セキュリティ教育の指導例3 アプリのインストール

四つ目は、激安ブランド財布の通販の販売画面です(図8)。まずは誰が売っているのか、企業の人なのか、一般人なのかということと、出品者からのコメントに、日本語を母語とする話者であればしなないであろう表現を見つけることができるかどうか、判断のポイントになります。例えば、この画面のように「早めの売り切れ。丁寧包み。お送りしますのぞ」というのは、あまり日本語では使われない表現です。そう考えると、少しあやしいと思います。

五つ目は、Wi-Fi接続の画面です(図9)。今は、無料でいろいろなところでネットにつながる事ができるので、まずは名前です。この画面では公式のドコモのWi-Fiにつなげようとしているのですが、よく見ると、ネットワーク名が「0065dokomo」と書いてあります。ドコモは、本当は「docomo」ですから、少しあやしいと感じます。



図8 情報セキュリティ教育の指導例4 通販サイト

Wi-Fiのセキュリティ、鍵マークが付いていないことから「ちょっと、どうかな」と考えなくてはいいでしょう。もちろんマークが付いていないからといって絶対にあやしいわけではなく、その先で認証することもあるのですが、一つの判断基準として、名前やセキュリティがきちんとしているかを考えると、この画面は少しあやしいと考えなくてはいいでしょう。

六つ目はアドレスバーのURLが「http」で始まるサイト、七つ目はアドレスバーのURLが「https」で始まっていて、鍵マークが付いているサイトです(図10)。「s」が付いているかどうかは非常に大きなポイントです。「s」はセキュアの「s」で、セキュリティを担保するためのものになっています。httpsの場合は、セキュリティがあるので、第三者がその情報を盗み見ることはなかなかできませんが、セキュリティがないと第三者が盗み見ることもでき



図9 情報セキュリティ教育の指導例5  
Wi-Fi接続

きてしまうのです。従って、自分の個人情報を入れる場合には、まずhttpsかどうかを確認することが、とても大切になってきます。そうなると、六つ目は少しあやしいと感じられます。相対的に見て、七つ目は比較的あやしくないと考えられるかと思えます。

#### † 指導のポイント

そう考えると、「あやしいサイト、あやしいアプリに気をつけよう」という指導ではなく、そもそもあやしいとは何か、どんな点があやしいのかということを、具体的に検討することが大切になってきます。ただ、セキュリティ会社の人に言わせると、「今はあやしいサイトもほとんどあやしくなくなってきた。あやしいと思わせないような工夫がどんどん進んでいるので、あやしくないサイトのあやしさに関しては、目でチェックすることがなかなかでき



図10 情報セキュリティ教育の指導例6  
ウェブサイトのアドレス

ない。そのようなときは、OSをアップデートしたり、ウイルス対策ソフトを入れたりすることが大切だけれども、まずは、目に見えるあやしさを回避する力を付けることが大切だ」とおっしゃっているので、ぜひ目に見えるあやしさを回避しながら、目に見えないあやしさに対応するとういことも意識していただきたいと思います。

ここまで、カード分類比較法で自覚を促すということを話してきました。「〇〇に気をつけなさい」と怖がらせて気をつけさせるのではなく、「自分もやっちゃうかも」「自分もセキュリティに甘くなっちゃうかも」「自分も友だちや知り合いに嫌なことを言っちゃうかも」といった自覚を促す指導をどのようにするかということを、少し具体的にお話ししましたが、リスク教育を考えると、まず自覚というのがとても大切です。自覚がないと行動変容が生まれにくいので、リスク教育はまず自覚だということを押さえていただきたいと思います。

## リスクのグラデーション発想

### ＋リスクの見積りの甘さ

ここからは、リスク教育において、特にネットのリスクを教える際に、自覚の次のステージはどういうものになる

かを考えてみます。

われわれが研究していて、子どもたちのリスク、特にネットリスクのことを考えてみると、次に問題になってくるのはリスクの見積りもりの甘さです。どういふことかというところ、「悪口になるかもしれないけれど、まさかそんなに怒らなだらう」「不適切な写真かもしれないけれど、まさか炎上はしないだらう」という、「このぐらいは大丈夫だらう」という発想が結構危ないのです。調査していくと、子どもたちは「何が危険か」というのは結構分かっているのです。つまり、「これをする」と駄目だ」ということはよく分かっているのですが、それが「どのくらい危険か」ということは、結構ズレやすいというか、あまり考えたことがないのです。リスク教育では、「あれが危険だ」「これが危険だ」と言うだけではなく、それがどれぐらいの危険性を持っているのかということを考えさせることが、とても大切な視点になってきます。

### ＋指導のポイント

もう少し具体的に言うと、われわれは「〇〇しない」という指導をよくしてしまいます。例えば、ネットについては「ネット上で知り合った人と会わない」「写真や動画は公開しない」「冗談やからかいを言わない」と言います。

確かにそのとおりですが、こういった一か0かの発想の指導は何が問題かという点、どのような特徴があったら危険と判断すればよいかという力を育むことができないのです。例えば、「世の中にいる人は全員泥棒だと思いなさい」と言った瞬間に、どのような特徴があったら泥棒だと判断すればよいかという力を育むことはできないわけです。でも、実際にはわれわれは、確かにみんな泥棒になる可能性はあるかもしれませんが、服装、言動、挙動などを見ながら「この人はちょっとあやしいな」と判断しています。ということは、1か0かの指導ではなく、「どのような特徴があったら危険と判断すればよいか」という、危険を予測する力を育む力を育むことがとても大切になってきます。われわれはこれを「リスクのグラデーショナル発想」と言っています。リスクを1か0かで考えるのではなく、グラデーショナルで考えて「リスクがどれくらいあるのか」ということを判断していき、さらに言えば、「どのような特徴があったら危険と判断すればよいか」という、危険を予測する力を育んでいくことが、自覚の次に大切なポイントだと思います。

#### 指導例

子ども向けの教材を持ってきたので、皆さんと一緒にやってみたいと思います。ツイッター(Twitter)のプロ

フィール画面の  
ようなカードが  
五人分、五枚あ  
ります(図11)。  
ツイッターを  
やったことがな  
い方がいたらっ  
しゃるかもしれ  
ないので、少し  
丁寧に説明して  
いきます。ツイッターではいろいろな人と交流することが  
できるのですが、自分のプロフィールをこのように載せる  
ことができます。



図11 カード教材を用いて危険性を考えさせる

この五人はマヤちゃんというアイドルが大好きな人たちで、参加者自身もマヤちゃんが大好きで、同じマヤちゃん大好き同士として、この五人からそれぞれ「マヤちゃんのこと話したいから、あなたの連絡先教えてよ」と言われたときのリスクを考えてもらいます。

一番目の「たいち」は、自分の顔写真を載せていて、「情報大学情報学部二年／今年ハタチです／車持ち／遠くにドライブ行きたい／マヤちゃん大好き」と書いています。フォロワー数は二五〇です。これは、たいち君を慕っている人

が二五〇人いるかと思っただけならば結構です。

二番目の「みさき」は自分の顔を出していません。「情報高校一C↓二A／吹奏楽部／ホルン吹いています／十七才♀／アニメ大好き／マヤちゃん大好き」と書いています。フォロワー数は五八人です。

三番目の「みっち」は子どもの顔写真を載せています。「東京／二児のママ／カフェ店員やっています！／土曜の夜はホームパーティー／マヤちゃん大好き」と書いています。フォロワー数は五四〇人です。

四番目の「ブラウン」は自分の顔を出しています。「IT系／二十七歳／ゲーム実況の動画配信しています／イベント好きの人フォロワーしてね／マヤちゃん大好き」と書いています。フォロワー数は二二一〇人です。

五番目の「ルンたん」は自分の顔ではなく、アニメか何かのイラストを載せています。「情報大卒／アメリカ留学／洋楽／英語教えます／勉強教えてほしい人メッセして／マヤちゃん大好き」と書いています。フォロワー数は三二人です。

この人には連絡先を教えてもいいと思えばリスク小、この人は少し危ないかなと思えばリスク中、この人には絶対に教えてはいけないと思えば、リスク大に分類していきま

危ないと言ってしまうと、どういう特徴でリスクを判断すればいいかという力を育むことができなくなってしまう。あえてこの五人を三つのリスクに分けるとしたらどう考えられるか、特にどこに着目しながらリスクを考えればいいかということ念頭に置きながら、分類してみてください。例を図12に示します。

当たり前ですが、「これが正解です」と正解を出すのは、とても難しいです。実際に、中高生がこの五人について、どのようにリスク認知しているかということをご紹介したいと思います。

リスク大だという回答が圧倒的に多いのが、五番の「ルンたん」です。皆さんの回答でも五番はリスク大が多かったです。「勉強を教えてほしい人はメッセージちょうだい」のような、



図12 「教えてもよい」リスクをグラデーションで考える (上記は例示)

コンタクトを求めてくる文章がプロフィールにある人というのは、かなりあやしく、リスクが高いと認知されます。これは確かにそのとおりで、向こうからコンタクトを求めてくる人というのは、結構リスクが高いですし、注意しなければいけないと思うので、五番は圧倒的にリスクが高いとする方が多いと思います。

中高生が思う次にリスクが高いものはどれか。ここからは結構、分散が大きくなってしまっていますが、比較的次に挙がってきやすいのは、一番の「たいち」や四番の「ブラウン」です。一番はなぜかというところ、「車持ってる」「ドライブ行きたい」などと書いてある人は、リスクが高いと考える子どもたちが多いからです。こういう人に連絡先を教えると、すぐにドライブに誘おうとしてくるということなので、私は「確かに」と思いました。

逆に、リスク小と考えやすいのは三番の「みっち」です。調査して分かってきたのですが、「女性」や「子ども」ということが書いてあるプロフィールは、比較的リスクを低く見積もりがちなのです。特に「二児のママ」などと書いてあると、ついついリスクを低く見積もりがちということが分かりました。

一番揺れるもの、リスク大と判断する人もいれば、リスク小と判断する人もいるのは、四番の「ブラウン」です。

これは、フォロワー数が二二二〇人とかなりの数がいて、ゲーム実況をしているということは、多分ユーザーみたいな人なのでしょう。この人は実際に自分の顔を出していますし、これだけの人に見てもらっているということでは、信頼できるのではないかと考える中高生が結構多いのです。

もちろん、それが一概に間違いというわけではないのですが、「ゲーム実況配信しています」や、三番の二児のママの「カフェ店員やっています」ということを、本当に信用していいのかということがあります。本当にプロフィールどおりなのかということは、やはり教えなくてはいけないのですが、最初からこれを言って、「全部リスクが高いから、全部危ないので気をつけなさい」と言ってしまうと、どこに着目してリスクを判断すればいいかという力を育てることができないので、まずは1か0ではなく、「〇〇しない」という指導だけではなく、リスクをグラデーションで考えさせるような発想での指導を意識していただきたいと思えます。

### 人権と情報モラル教育

同じようなリスクのグラデーションという発想で考えて

みたいのが、人権と情報モラル教育です。人権教育においても、情報モラルや情報リスクについてはよく話します。人権教育では、「冗談もいじりも悪口も、全部言っちゃいけない」と教わります。しかし、冗談やからかいには、関係性や信頼感を深める役割も当然あるので、すべてが駄目と一概には言えないのです。しかし、絶対に表現してはいけない内容・場所・相手・関係性もあるので、そこは分けて考えなくてはなりません。

十 指導例

われわれがリスクのグラデーションという発想で考える際に、よく挙げるものをご紹介します(図13)。例えばAからEまでのことを思つたとします。Aは「新発売のジュースを飲んで『このジュース、おいしい!』と思つた」、Bは「カフェのランチを食べて『このお店、マズすぎる…』と思つた」、Cは「『ブサイク芸人大集合』というテレビの番組を見て『あの人、学校の先生に似てるな』と思つた」、Dは「たくさん食べる女子を見て、『女性なのにすごいな』と思つた」、Eは「物腰が柔らかい男子を見て、『少しオネエっぽいな』と思つた」。思ってしまうのは一〇〇歩譲って仕方ないとしても、それをどこまで発言していいか、ということを考えなければいけないのです。

つまり、①家族

にLINEで話す

のはいいのか、②

親友にLINEで

話すのはいいの

か、③友だちのグ

ループLINEで

話すのはいいの

か、④鍵付きのツ

イッター(知って

いる人が多く見る

ところ)で話すの

はいいのか、⑤鍵

なしのツイッター

(知らない人もたくさん見ている、広く言えば全世界の人

が見ているところで話すのはいいのか、これを○(大丈夫)、

×(不適切)、△(悩む)で考えていただくということを

よくやります。

当たり前ですが、これもリスクグラデーションですから、

「これが正解です」と挙げることはなかなか難しいのです

が、考える視点を一緒に見てみましょう。従来なら「ネット

で、こういうことを書くんじゃないよ」という1か0か

	①家族にLINEで話す	②親友にLINEで話す	③友達のグループLINEで話す	④鍵付きTwitterで話す	⑤鍵なしTwitterで話す
A: 新発売のジュースを飲んで「このジュース、おいしい!」と思つた					
B: カフェのランチを食べて「このお店、マズすぎる…」と思つた					
C: 「ブサイク芸人大集合」というテレビの番組を見て「あの人、学校の先生に似てるな」と思つた					
D: たくさん食べる女子を見て、「女性なのにすごいな」と思つた					
E: 物腰が柔らかい男子を見て、「少しオネエっぽいな」と思つた					

図13 表現する内容・場所・相手・関係性を踏まえて考える

の指導で、全部不適切と言っていたのですが、内容と場所によるのです。

Aから見えていきます。「新発売のジュースを飲んで『このジュース、おいしい!』と思った』のは別にいいですね。それを家族にLINEで話すのも、まあいいでしょう。ポジティブな情報ですし、「おいしい」と言ったら「おいしいよね」と言ってくれるかもしれない。友だちが多いところで、友だちに対して「このジュースおいしいよね」と言ったら、「おいしいよね」「私も飲んだよ」みたいなことを書いてくるかもしれませんが、全部〇でいいかというと、鍵なツイッターだけ少し注意が必要です。

「このジュースおいしい」ということを鍵なツイッター、多くの人が見ているところに書くと、どのようなリスクがあるかということを考えてみます。全世界の人が「このジュースおいしいよね」というつぶやきを見たら、当然「私も飲んだよ。おいしい」という肯定的なものもあるかもしれません。一方で「いや、そのジュースはおいしくない」と言ってくる人もいるわけです。さらに言うと、「そんなジュースがおいしいと思うなんて、味覚がおかしいんじゃないの」と批判や否定をしてくる人もいるかもしれません。そういうリスクを考えられるかどうかというのが、ここではすごく大切になってきます。友だちに言うぐらい

なら全然リスクはないのですが、全世界の人に言ったら批判や否定といったことがあるかもしれない、そういうリスクに気づけるかどうかというのが大切になってきます。

次はBです。「このお店、マズすぎると思った」、それは思いますよね。私も、どこかに食べに行つて「マズすぎる」と思うことはありますが、それをどこまで言っているのか。家族や友だちに言うのは、まあいいのではないかと考えられます。家族や友だちぐらいに「あのお店、おいしくないよね」と言うのは、私にもよくある話です。考えなくてはいけないのは、少し人数が多くなってきた友だちのグループLINEや、鍵付きのツイッターです。どのようなリスクがあるかと言うと、「このお店、マズすぎる」と言ったときに、例えば私は今、静岡市に住んでいます。「静岡市の葵区のお店、マズいよね」と大勢の友だちに言ったら、「あのお店、私のお兄さんのお店なんだよね」みたいなことがあるかもしれないです。

あとは、DやEの「女性なのにすごいな」「おネエっぽいな」という感想です。もちろんこうしたことを思ってしまった方がいいのですが、仮に思ってしまったときに、それを親友にLINEで話すときのリスクをどれだけ想像できるか。つまり、友だちが性的マイノリティの当事者ではないかと考えられるかどうか、そういうリスクを想像で

きるかということがすごく大切になってきます。

従って、1か0かではなく、リスクを想像する練習という意味においても、リスクのグラデーションという考え方はとても大事なのです。逆に言うと、こういうリスクを想像できないのであれば、SNSを使わない方がいいのではないかとも言えるわけです。リスク教育という意味で考えると、このようなリスクを想像する練習をたくさんしておくことが、とても大切なポイントだと思います。そんな教材を、こうやってわれわれは研究しているというご紹介しました。

### 特別支援教育における情報モラル教育

#### †特別支援におけるネットトラブルの事例

特別支援教育において情報モラル教育をどう進めるかということも、非常に大事なポイントなので、研究を紹介させていただきます。

特別支援学校でも、特別支援学級でも、ネットトラブルは起きます。例えば、知的障害のある子どもたちは、SNSやウェブサイトから誘引されて金銭的・性的被害を受けてしまうこともありますし、発達系の障害のある子どもたちでは、コミュニケーショントラブルや、ネットゲームの

使い過ぎということもあります。

特に、これから成人年齢の引き下げが行われ、十八歳成人になると、十八歳でクレジットカードを作ることができるようになります。そうなると、高校生が自分でクレジットカードを作って、ネットゲームに課金し続けてしまうことも考えられるので、こういったトラブルをどう防いでいくかということは、特別支援においてもとても大切なのです。

しかし、これまでもコミュニケーション指導は行なっているはずなのに、なぜトラブルがおきるのでしょうか。例えば、「相手に伝わる話し方のポイント」や「相手の話を聴くときのポイント」については、「ゆっくりしたスピードで話すんだよ」「はっきりした声で話すんだよ」「相手の目を見て聞んだよ」「うなずきながら聞んだよ」など、これまで皆さんも何かしら指導してきたと思いますし、指導を受けてきたと思います。子どもたちも、小さい頃からこういった指導を受けてきているのです。

では、なぜネットでのトラブルが起きるかというところ、ここがポイントなのですが、こういったリアルでのコミュニケーション指導をネットに援用できるかというと、テキストコミュニケーションでは、こういった知見がすべて使えるわけではないのです。例えば、テキストコミュニケー

ションではゆっくりしたスピードで話すことは難しいです。はつきりした声で話す、相手の目を見て聞く、話すというのも、当たり前ですがチャットではできないわけです。うなずきながらというのは、スタンプで相づちを打つようなことでやることができるような気もしますが、これまでのコミュニケーション指導の知見の全部が、テキストコミュニケーションに援用できるわけではないということが大切なポイントです。

#### † ネット版 SST (ソーシャル・スキル・トレーニング)

特別支援学校ではよく、ソーシャル・スキル・トレーニング (SST) というものをやります。ソーシャル・スキル・トレーニングというのは、例えば上手にお願いする、断る、謝る、人と話をするなど、ソーシャルスキルのトレーニングですが、これはどちらかというと、リアル場面のスキルなのです。しかし、それを全部ネットのコミュニケーションに使えるかというと、やはり使えないのではないでしょう。上手に断るにしても、リアル場面で上手に断るスキルと、SNS上で上手に断るスキルとは、やや別なのではないか。そもそも SNS を使って断るのがいいかどうかということも含めて、リアルとネットの上手な断り方を、それぞれ学ばなくてはいけないのではないかということ、

私たちはネット版のソーシャル・スキル・トレーニングの研究もしています。

例えば、SNS で誰かに何かをお願いするときも、対面ならこういうスキルのポイントがあり、ネットで誰かにお願いする際にはこういうスキルのポイントがあるということとを、きちんと子どもに身に付けさせないと、やはりコミュニケーションコントラブルが起きるのではないか。あとは個人情報を守る、知らない人に出会わない、あやしさを見抜くといった、自分を守るスキルを身に付けておくことが、すごく大切ではないかということを研究しています。

#### † 特別支援向け情報モラル教材

「SNS の『上手なつかいかた』を考えよう」という、ネット版のソーシャル・スキル・トレーニングの教材を特別支援学校、特別支援学級向けに提供しています。例えば「SNS での写真の公開を考えてみよう」「SNS でのコミュニケーションを考えてみよう」など、いろいろなパターンがあり、そういったものを子どもたちにスキルとして学ばせていくような内容になっています。

少し教材をご紹介します。写真編では、「五枚の写真をも、三つのグループにわけてみよう」というワークをします。たかさんの人が見る SNS に公開してもいいのか、決

められた人にだけ送ってもいいの、SNSに公開しない方がいいのかということを、グラデーションで考えさせるようなものです（図14）。「一回目にグループにわせる写真は、この五枚」「二回目にグループにわせる写真は、この五枚」という形で、繰り返しトレーニングします。例えば、修学旅行や旅行先で撮った風景の写真は、多くの人が見るSNSに公開してもいいけれども、電話番号が載った写真や、筋トレの成果を撮った裸の写真などは、絶対に載せない方がいいというふうを考えられます。

今は子どもたちがタブレットを持っているので、たくさんの人が見るSNSに公開してもよい写真を撮って、発表してみるようなこともします。



図14 SNSでの写真の公開を考えるワークシート

このような特別支援向けの情報モラル教材を作っているので、ご興味があれば、ぜひ使っていたいただきたいと思います。スキルをトレーニングしていくことがポイントになります。

### 個人のモラルや不注意だけが問題なのか

リスク教育を考えていくと、どう自覚させていくか、そして考え続けさせる、特にリスクをグラデーションで考え、さらにスキルをトレーニングしていく、こういったところが指導の大きなポイントになるかと思っています。

最後に考えてみたいのは、個人のモラルや不注意だけが問題なのかということです。リスク教育をすると、個人のモラルが問題、不注意が問題だということになるのですが、本当にそれだけでしょいか。

#### † 「気をつければ」改善されるのか

次の事例を見てください。

「Aさん（三十代女性）は午後八時ごろ、自宅近くのコインランドリー駐車場に駐車し、洗濯物を投入するため鍵を掛けずに車を離れた。約十分後に近くのが

ソリンスタンドに到着した際、USBメモリや携帯電話などが入ったバッグがないことに気づいた。携帯電話には顧客の電話番号が分かる着信履歴が残り、USBメモリには顧客ごとの売り上げに関する資料も入っていた。個人情報を持ち出す際には会社の許可が必要だが、Aさんは十二月の決算に向けて十一月から無許可で持ち出していたという」。

これはよくある話ですが、これを見るとAさんはすごく悪い人ですよ。Aさんはうっかり者で、鍵も掛けずに車を離れて、なおかつ、無許可で勝手に個人情報を持ち出してけしからんと思うのですが、これを読んだ時点でAさんの過失がどれぐらいかということ、皆さんにも考えていただきたいのです。一〇〇%、八〇%、六〇%、四〇%、二〇%のうちどれでしょうか。では、一緒に考えてみましょう。これをぱっと見ると、当たり前ですが、うっかりミスですし、個人情報を勝手に持ち出していたので、Aさんはかなり悪いですよ。過失は少なくとも八〇〜一〇〇%ぐらいではないかと私も思うのですが、少し見方を変えてみます。

#### 十 背後要因想像法

この問題の背景を少し考えてみたいと思います。Aさんが、この事件を起こしてしまった背景に、①上司、②同僚、③お客さま、④家族、それぞれに対するどのような不満や愚痴が隠されていたのか、四つのシチュエーションカードから二つ選んで、自分で考えてみてください(図15)。これは想像になるので、自分で創作していただいても結構です。

では、一緒に考えてみたいと思います。例えば、①では、持ち出すには会社の許可が必要だけれども、無許可で持ち出してしまったということは、実は許可を取ろうとして上司に言おうとしたのだけれど、上司が全然会社にいないとか、連絡が取れなかった可能性もあります。②では、本当は決算に向けて同僚と仕事を分担していきかけたのですが、同僚は全然仕事をして



図15 背後要因を考える

くれないし、非協力的で、Aさん自身にかなりの負荷が掛かっていた。③では、決算に向けて資料をまとめなくてはいけない時期に、お客さんからすごいクレームが来て、その対応で手いっぱいになってしまい、家に持ち帰って仕事をせざるを得なかった。④では、本当は家族にいろいろ家事を協力してもらいたかったけれども、家族が協力してくれない、主導でやってくれないということがあって、コインランドリーに行かなければいけなくなったなど、家でもかなりトラブルがあった。

もう一度、そのような視点でこの事例を考えていただくと、もちろんAさんが悪いことは確かなのですが、改善する際に、Aさんが気をつければ次から改善できるかという点、それだけでもないことがわかります。つまり、職場の同僚との関係性、上司との関係性、家族の問題、そういったものが改善されなければ、Aさんがいくら気をつけていても、また同じことが起きるかもしれないわけです。そのように考えてみることを「背後要因想像法」といいます。気をつければ防げるわけではなく、やはり仕事内容、仕事量、職場環境、家庭環境、介護の問題などがあると、たとえ気をつけようとしていても、トラブルが起き続けてしまうのです。

そう考えると、情報モラルも情報セキュリティも、基本

的には個人が気をつけるべきものとして捉えがちですが、決してそれだけではなく、個人がいくら気をつけていても気をつけられない側面があります。どうしてもリスク教育というと、人への教育、人のモラルやセキュリティ意識といったことを改善しがちです。もちろん、それは大切ですが、それだけではなく仕事内容や、環境といったことを変えていかないと、ミスというのは防げないということも、最後に考えていただければと思います。

### まとめと今後の研究

リスク教育の分野においては、トラブル事例を紹介して、「気をつけなさい」と言えば気をつけられるわけではないのだということを、皆さんに考えていただくことができたいと思います。特に、自覚やリスクのグラデーション、スキル、さらには個人のモラルや不注意だけが問題ではないということも、意識していただけるといいかと思えます。

われわれの研究室では、こういった研究を日々行っていて、さらに、子ども向けの教材や、子どもだけではなく大人向けの教材なども作っているので、ぜひ一度、そのような教材なども見ていただけるとありがたいです。

最後に、今後の研究は何をするのかということ、今やっている研究をご紹介します。これまでの情報社会（4・0）からSociety 5.0になり、AI（人工知能）がビッグデータを解析しながら進めていく社会、ロボットを使ったりする社会において、リスク教育はどう考えられるのかということとを研究しています。

例えば、自動運転が全盛になったときに、安全教育はどう変わるのかという話があります。つまり、自動運転になつてしまえば、本人がリスクを認知しなくても、自動的に車がリスクを回避してくれます。それは運転者も歩行者もそうです。そうなつてくると、安全教育は必要ないのではないか、必要なくはないのですが、どういう安全教育がそこで必要になつてくるかということがポイントになるのです。

同じようにわれわれ情報の分野でも、例えば、相手を傷付ける言葉を言つたら、AIがあらかじめ削除してくれるとか、AI側が不適切な写真を勝手に削除してくれるような社会になつていつたら、そこで必要なものは何か、そこで必要なモラルとは何かということを、今まさに研究しているところです。これは非常に奥が深い研究で、なかなか難しいところですが、こういったことも今後、必要な研究かと思つたので、このような研究知見を紹介させていた

だくような場があればありがたいと思つています。



第4回

# 感染症のリスクに向き合う

鈴木 哲朗

## 感染症とは

感染症とは、病原性の微生物が、ヒト、動物、植物の体内に侵入することで引き起こす疾患です。全世界での死者数における感染症関連の死者の割合は、先進国では必ずしも多くはありませんが、後進国を中心として、現在でも年間五〇〇万人を超える死者が、感染症関連で発生しています。全死者の二割以上は感染症関連です。

感染症の原因は微生物ですが、微生物には、ウイルス以外に細菌や真菌、寄生虫があります。ウイルスももちろん微生物の一種ですが、生物ではないというのが常識的な考え方です。なぜなら、ウイルスは細胞ではないからです。ウイルスはしばしば菌といわれることがありますが、通常、菌というのは細菌、あるいは真菌（カビの仲間）を指すので、ウイルスは菌の一種ではありません。

このように、感染症によって多くの死者が出てしまう

わけですが、それ以外に、感染症のリスクとして、感染症の大流行が起きると、大きな経済被害、経済損失が発生するということは、かねてより想定されてきました。

今から十数年前、二〇〇八年（平成二十年）七月の厚生労働省の新型インフルエンザ対策専門家会議の資料では、もし、新型インフルエンザのようなウイルス感染症の大流行が起こった場合に、どのぐらいの経済被害が起こるかが算出されていました。世界中で数千億ドル、あるいは一兆ドル以上の経済損失が出る場合もある、日本では数十兆円の経済被害が起こる可能性があるという試算でした。

私も含めて、多くの人は、実際にはなかなかこういうことは起こらないだろうというのが、率直な思いであったと思います。しかし、二〇二〇年の初めから現在に至るまでの間に、実際にウイルス感染症の大流行によって、大きな経済被害が起こるということを世界中で実感することに

なっていました。

## ウイルスとは

### ↑ウイルスの大きさ

ウイルスはとて

も小さいです。ウイルスは直径が数十ナノメートルから数百ナノメートルの大きさを持つ、中に遺伝子を持っている生命体です（図1）。ウイルスは電子顕微鏡を使って初めて観察することができます。すなわち、光学顕微鏡しかなかった時代には、ウイルスの本体を観察することはで

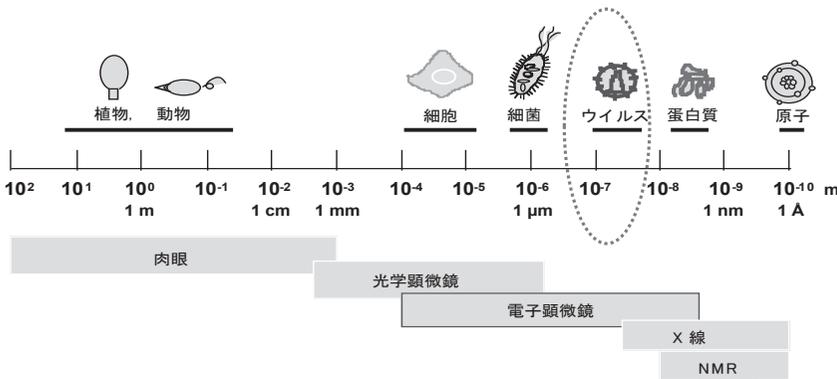


図1 大きさの比較

きなかつたとい  
うことです。

大きさが重要なのは、粒子の大きさとマスクとの関連です（図2）。ウイルスは直径が数十ナノメートルから数百ナノメー

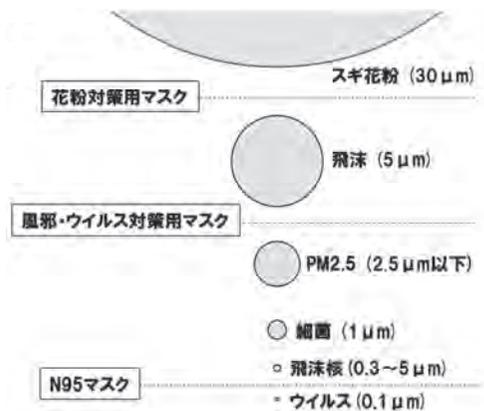


図2 粒子の大きさとマスク  
(出典) 一般社団法人 日本衛生材料工業連合会 全国マスク工業会

トルと申しましたが、そうすると、マスクのフィルターの目より小さいので、マスクをしてもブロックできないということになってしまいます。しかし、コロナウイルスそのものの大きさは0.1マイクロメートルですが、特に呼吸器系のウイルス、咳あるいはくしゃみで体から放出されるウイルスは、水分を含んで飛び散るので、五マイクロメートルの大きさの飛沫になります。あるいは、乾燥している場合や、水分を含んで飛沫の形で飛び出したものが、だんだん水分が除かれた場合は、0.3〜五マイクロメートルの飛沫核ぐらゐの大きさになることがあります。ですから、実際にヒトの口から排出されるようなウイルスは、飛沫核、あるいは飛沫の形で広がるということが大部分なので、飛

沫核はなかなか難しいものがありますが、通常のウイルス対策用のマスクでも、近距離で飛沫の形で飛んでくるウイルスは、ブロックできるということになります。

### ↑ウイルスと細菌の増殖の違い

先ほど、ウイルスは他の微生物と違うという話をしました。一番大きな違いは、ウイルスは細胞ではないということです。ウイルス以外の微生物は、基本的に細胞です。細胞の場合は栄養があれば、その栄養分を自分が利用して、自分を増やすことができるという機能を持っていますが、ウイルスは細胞ではないので、ただ栄養があっても駄目です。ウイルスは、何らかの細胞の中に侵入して、細胞が持つタンパク質合成などの機能を利用して初めて子孫ウイルスを作ることができます。

ウイルスと細菌の増殖の仕方の違いを、対比させながらご説明します。ウイルスが細胞に侵入すると、ウイルス粒子の中に含まれている遺伝情報（ウイルスの設計図）が細胞の中に取り込まれ、この遺伝情報に従ってウイルス遺伝子がたくさん複製されます。この複製された遺伝子からウイルスタンパク質が作られて、ウイルスの粒子が新たに構成されて、細胞外へ出ていきます（図3）。

ウイルスの製造過程は、細胞が自身を維持・増殖させる

ために備わっている細胞の機能を、ウイルスが利用して、ウイルスの遺伝子を作り、タンパク質を作るということだと言い換えることができます。細胞のタンパク質を作るための機能をウイルスが勝手に使って、ウイルスタンパク質を作るという

ようなことです。ウイルス自身は、細胞から借りることのできないものだけを、細胞外から持ち込みます。ウイルスの遺伝子そのものは細胞の中には元々ないので、これは自分が外から細胞の中に持ち込むということです。それに対して細菌は、一つの細菌が細胞分裂をして、増えていきます（図4）。細菌の中にも細胞に寄生して増えるものもありますが、その場合も二分分裂で増殖します。

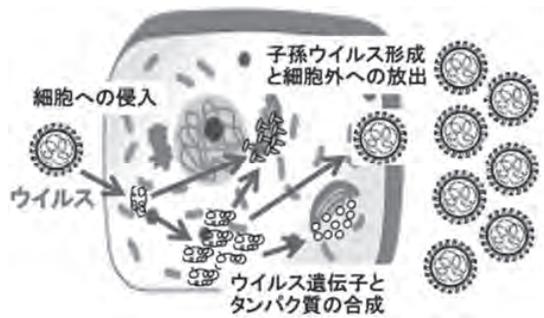


図3 ウイルスの増殖

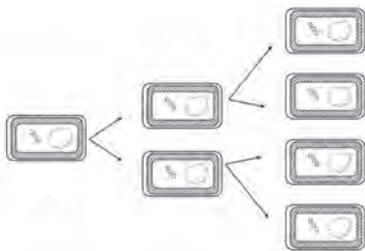


図4 一般的な細菌の増殖

すなわち、ウイルスは自身もつ機能は限られていて、細胞に侵入して、細胞内の機能を利用して増殖すると言ったことができます。これが抗ウイルス薬の開発の難しさにつながっています。ウイルスが増える過程の多くは、細胞の中で、その細胞の持っているものを使って行われるために、細胞にはダメージを与えずに、ウイルスだけに効果を發揮するような抗ウイルス薬の開発は、細菌を抑える抗菌薬の開発の場合に比べて、一般的に難しいのです。

細菌は自分自身が細胞なので、自分の責任ですべて増やすことができ、ヒトの細胞とは違う性質を持っているので、それらの一つあるいは二つを標的にして菌を殺すような抗菌薬を開発することは、比較的容易であると言えます。そういうことから、抗生物質の開発は非常に進んでいて、たくさん種類の抗生物質が既に開発されて使われていますが、それに比べると、抗ウイルス薬の開発は、必ずしも進んでいないと思います。もちろん近年はどんどん研究が進んで、さまざまな薬が出つつありますが、相対的な問題で、このような背景から、ウイルスに対する選択的・特異的な薬は開発しにくくなっています。

もう一つ、ウイルスの増殖の仕組みに関連する話をします。ウイルスは細菌のような倍々に増えるという対数増殖ではなく、感染後、ある時間が経過すると爆発的に増殖す

る、一段増殖という増え方をします。ウイルスに感染してから二十時間ぐらいまで、新しいウイルスは少なくとも細胞の外には出てきません。感染して、しばらくの間、ウイルス自身が新しいウイルスを作るための準備をします。新しい遺伝子を作り、新しいタンパク質を作って、それらが一緒になって新しいウイルスができていくわけですが、それまでのいわゆる潜伏期間が何十時間かあります。その潜伏期間の間に新しいウイルスを作る準備がされて、ウイルスができて、細胞外に出ると、感染後二十二時間ぐらいの時点で、ウイルスが検出されることとなります(図5)。そうすると、急速に細胞外にウイルスが放出されるということが起こります。

ウイルス感染症の場合には、昨日の夜まではほとんど症状が出ていなかったのだけれど、次の日の朝になると急激に悪くなるというように、症状が急激に変化することがしばしば起きます。こ

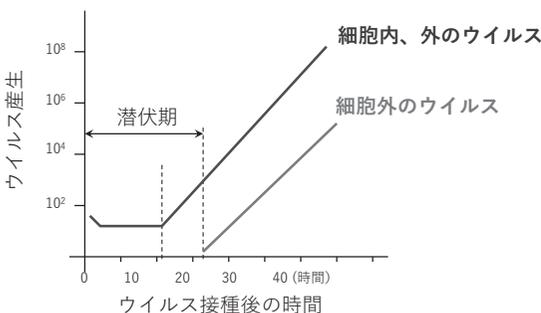


図5 ウイルス接種後の時間とウイルス産生の関係

れは、ある潜伏期間を経て突然、膨大な数のウイルスが出現し得るといふ、ウイルスの増殖の仕組みと関連していません。従って、少し前まで症状が出ていなかったのに、急激に変化してしまうということに備えるのは難しいですが、そういうことが起こり得るといふことに注意しながら接するということが大事になります。ウイルスの増殖の仕組みの特徴の一つです。

## 微生物学の歴史

### 十 感染症の認識

十四〜十五世紀ごろはペスト、天然痘、発疹チフスといった、いろいろな感染症が大流行しています。「死の舞踏」といふ絵は、ペスト（黒死病）が大流行して、非常に多くの死者が出たときのことが描かれたものです。感染症が世界中で非常に流行した時期を経て、十六世紀になると、幾つかの病気はどうも伝染するようだということが、何となく分かってきました。ルネッサンス時代です。

その後、十七世紀の後半、十八世紀末になって、初めて顕微鏡が発明されました。これは微生物学にとって、非常に大きな特筆すべき進歩です。ここから微生物学が始まったと言ってもいいと思います。これによって細菌を観察す

ることができるようになりました。

そうすると、十八世紀以降、微生物学、特に細菌学の研究が進むようになります。そして、十九世紀には病原微生物、この場合は細菌類ですが、その侵入・伝搬による感染症という疾患群があるということが、科学的に認識されるようになりました。

### 十 ウイルスの発見へ

十七世紀から十九世紀にかけて、ペスト、コレラ、チフス、結核といった細菌感染症の診断ができるようになり、研究が進みました。十八世紀に、天然痘も大流行の時期がありました。この頃はまだ、天然痘は顕微鏡で見えることはできなかったのですが、「天然痘は悪い空気や天罰によって起こるのではなく、天然痘を起こす何かよく分からない毒があるのだろう」ということを、研究者が提唱するようになりました。ラテン語の「毒」という意味の単語はウイルス(virus)です。これがウイルスという名前の語源になっています。

そして、一八九八年に初めてウイルスが発見されました。これ以前は、感染症の原因になる、伝染性のある疾患の原因細菌類はある一定の大きさ、素焼きの器の穴を通さないぐらいの、それなりの大きさを持っていると認識されてい

ました。

ところが、タバコモザイク病というタバコの葉に異常な形態を起こす病気が知られていましたが、このタバコモザイク病の研究をしていく過程で、細菌を通さないような素焼きの器をすり抜けるものが原因だということが、実験的に分かりました(図6)。すなわち、病気になった葉をすりつぶして素焼きの器に通し、それを通った液体を使うと、同じ病気を起こすことができるということが、実験的に示されたのです。そうして、細菌よりも小さい大きさの伝染病の原因物質が、世の中に存在するということがだんだん分かるようになっていきました。

動物のウイルスとしては、同じ一八九八年に、ウシの口蹄疫についても同じように非常に小さい大きさの原因物質があるということが、実験的に示されました。ウシの口蹄疫は、日本でも時々はやることがある、家畜の重篤な伝染病です。これらがウイルスの発見の端緒になりました。ただ、まだこの頃は電子顕微鏡はなかったので、ウイルスそのものを見ることはできませんでした。



図6 ウイルスの発見につながる実験

#### 十 パナマ運河と黄熱病

同じ時期に、ウイルス感染症に対する対策が、大きな公共事業の成功につながったという例を紹介します。パナマ運河の建設に関するものです。パナマ運河を建設すべきだということ、一八八二年から、フランスの企業がこの運河建設に着手しました。しかしながら、この地域で黄熱病やマラリアが大流行して、建設ができないということになり、断念しました。

その後、一八九〇年に、アメリカの陸軍調査委員会が、どうしてもパナマ運河をつくりたいということで、対策を取ることを考えました。そして、いろいろな調査をする過程で、原因物質が何かははっきり分かっていないものの、黄熱病はとも蚊によって媒介される伝染性のものだということがわかってきました。そのため、蚊を根絶・駆逐することができれば、パナマ運河の建設ができるのではないかと考え、アメリカは運河建設の権利を一九〇二年に購入して、建設地域の蚊を徹底的に駆除し、外部からの持ち込みには検疫、感染者対策として病院を設置するなどの徹底的な衛生作戦を行い、それが成功して、一九一四年にパナマ運河が完成しました。これは、感染症の感染源、あるいは感染経路は何かという目に見えないものを相手にしながら、工夫して推定し、それに対する衛生対策を徹底的に取っ

た結果、うまくいったという事例です。これは現在に至るまで、世界的な教訓になっていると思います。黄熱ウイルスそのものは、一九二七年に初めて分離されました。

#### 十 スペイン風邪

もう一つ、歴史上の大量死のケースを紹介します。第一次世界大戦の死者数は九二〇万人、第二次世界大戦の死者数は一五九〇万人と、二回の世界大戦ではもちろん非常に多くの死亡者が出ています。一方、ペスト流行では二五〇〇万人、エイズ流行（一九二〇〇三年）では三一〇〇万人、一九一八年から一九二〇年のインフルエンザの世界的大流行では、四〇〇〇万人の死者が出たとされています。ちょうど第一次世界大戦の後半に当たる時期でしたが、第一次世界大戦で亡くなった方の何倍も多くの死者が、このときのインフルエンザの流行で発生したのです。このときのインフルエンザは別名スペイン風邪といわれています。第一次世界大戦中、病院ではベッドが足りない状況になり、スペイン風邪に罹患したアメリカの兵士は、簡易ベッドを敷き詰めた基地施設に収容されました。二〇二〇年の新型コロナウイルス発生当初に、中国などでこれに近い、これをイメージするような病院、簡易施設ができたのは、非常に驚くべきことだと思いました。

スペイン風邪流行当時は、原因の病原体は見つかつておらず、ワクチンもない時期でした。インフルエンザウイルスが初めて発見されたのは一九三三年だったので、それより十何年前ということですが。医学的な手段がほとんどなく、対策としては、患者の隔離、接触者の行動制限、個人衛生、消毒と集会の延期といった、ありきたりの方法に頼るしかありませんでした。多くの人は、人が集まる場所では自発的に、あるいは法律によりマスクを着用し、一部の国では、公共の場所で咳やくしゃみをした人は罰金刑になったり、投獄されたりしましたし、学校を含む公共施設はしばしば閉鎖され、集会は禁止されたということです。

お気付きのように、この新型コロナウイルスのパンデミックにおいて、世界中で取られている最も基本的な予防対策とほとんど変わらないということが分かると思えます。基本的な感染症対策は、今も昔も大きく変わらない、基本はこういうことなのだろうということを示していると思います。

#### 十 天然痘とワクチンの開発

インフルエンザと並んで、ウイルス感染症として歴史上非常に大きな意味を持っている感染症に、天然痘があります。天然痘にかかってしまった人は、顔にポックと呼ばれ

る症状が出るのが特徴です。天然痘は、古代から発生していたことを示唆する歴史的な遺産が、数多く残っています。例えば、十六世紀ごろ、スペインによる新世界の征服が行われていきました。スペインが意図して持ち込んだかどうかは実際のところ、はっきりしていませんが、スペインがアメリカ大陸に進出していった過程で、アメリカ大陸に天然痘が持ち込まれたことにより、アメリカ大陸で非常に多くの死者が発生し、それが実際にはスペインによるアメリカ大陸の征服につながったというようなこともあります。大きな歴史的なイベントや、戦争の結果などにも天然痘は影響してきたということです（図7）。

この天然痘の歴史の中で、非常に大きな忘れてはならないことがあります。それは、最初の予防接種の確立につながったという点です。十八世紀ごろ、イギリスのエド

- 568年にメッカで起こったElephant戦争では、エチオピア兵が天然痘により全滅した。
- 天然痘が持ち込まれたことによって、スペインによる「新世界」の征服が促進された（1507年カリブ諸島、1520年メキシコ、1524年ペルーおよび1555年ブラジル）。
- 1713年天然痘によりホッテントット族が激減した。
- 1738年天然痘によりチェロキー族の人口が半減した。
- 1776年に天然痘が植民地軍に多大な損失を与えた。

図7 天然痘と人類の歴史

ワード・ジェンナーという研究者の最大の貢献です。ジェンナーは歴史上、最も多くの人を助けた人といわれています（図8）。

当時、天然痘が世界的にまん延していました。同じ頃、ウシにも天然痘に近い病気がありました。牛痘といわれ、同時に存在していましたが、人間の中で、乳搾り等、ウシの世話をするような仕事をしていた人たちは、なぜか天然痘にかかっていないということがだんだん分かってきました。ウシの天然痘は少し人にうつるのですが、それはあまり大した病気になりません。

そこでジェンナーは、ウシの天然痘である牛痘が、ヒトの天然痘の予防や感染阻止につながるのではないかということを考えました。それを実際に実験するために、今ではとてもできないことですが、ウシの世話をしていたために手に牛痘の病斑、膿を持っていたメイドの膿を取って、それを自分の子どもではないフィツプスという名前の少年に接種しました。それからしばらくした後、この少年にあらうことか天然痘を接種するということをしましたが、この少年は幸いにも天然痘にかかることはありませんでした。



図8 Edward Jenner (1749~1823)

つまり、この場合、牛痘がワクチンになったという例です。ジェンナーが当時、この実験をしたことによって、天然痘のワクチンが開発されるようになりました。牛痘の膿を用いた安全な牛痘法が考案され、これが世界中に広まって、天然痘の流行の抑制に大きな効果を現しました。天然痘のワクチンの開発につながったのです。

天然痘の研究の過程で、感染症を予防する医療行為として、ワクチンが有効だということが初めて示され、天然痘ワクチンが開発されました。第二次世界大戦が終わった後の一九五〇年代も、世界的に天然痘はかなり流行していました。こういった背景の中で、WHO（世界保健機関）ではワクチンを使って天然痘を根絶しよう、撲滅しようという計画が立てられ、世界的に実施されました。アフリカの奥地の村で、ワクチンを打つから集まるようにと声を掛け、行列を作っているという写真があります（図9）。

世界中で徹底的に天然痘のワクチンの接種を行い、その結果、一九八〇年に世界で初めて、感染症の根絶宣言を出すに至りました。二十数年かかって、天然痘を根絶することができたということになります。

これにより、感染症を撲滅するための戦略が分かったので、次の標的を決めてやろうとしています。現在、根絶計画が進行している感染症は、小児まひのポリオと、麻疹はしかで

す。麻疹は、麻疹ウイルスというウイルスが感染源です。この二つの感染症について、ポリオはかなり長く計画を実行していますが、もう少しというところで、まだ根絶に至っていません。あと少

しで根絶が達成されるものと期待されています。

ここで覚えておいていただきたいのですが、どんなウイルス感染症でも根絶計画に乗るわけではありません。その条件として三つ挙げられています。重篤な疾患で大規模な流行が起こっていること、自然宿主がヒトだけであること、非常に有効で安いワクチンがあるということです。自然宿主がヒトのみであるというのはかなり重要な点です。

新型コロナウイルスも含めてですが、動物からヒトにうつってきたような病原体というのは、非常に難しいということになります。ヒトだけに徹底的にワクチンを打って感染を予防しても、動物が持っているとなると、根絶は難し



図9 天然痘ワクチン接種のため列を作る人々

いということ。現在、ポリオ、麻疹はこういった条件に当てはまるといふことで、根絶計画が進行しています。言い換えると、現在まで人類が感染症を根絶しようという目標を定めて計画して、実行して、成功したのは天然痘ただ一つです。

## 新興感染症

### † 新興感染症の提唱

天然痘の根絶計画が進行していた頃のエピソードを紹介します。一九六七年、アメリカの議会で当時の厚生労働長官が「The time has come to close the book on infectious diseases. (感染症の勉強をする必要がなくなる時期が来た)」ということを行っています。当時は、天然痘の根絶計画が進行していて、どんどん感染者が減っていた時期でした。つまり、彼はこういうことがうまくいくのなら、いろいろな感染症で同じようなことをやっていけば、感染症は地球上からほとんどなくなるだろうと思つて発言されたのだと思います。

ところが、皮肉にも、この根絶計画がうまくいった頃から、新しい新興感染症が出現しつづありました(図10)。一九九〇年になって、アメリカの疾病対策センターが、新

しい感染症がどんどん出現しているぞということ、

「新興感染症」と

いう単語を提唱するに至りました。

ウイルスにはD

NA (デオシキリ

ボ核酸) ウイルス

とRNA (リボ核

酸) ウイルスとい

う二つのグループ

があります。遺伝

子がDNAの場合と

とRNAの場合と

いうことです。ウ

イルス粒子の中に、DNAとRNAの両方を持つてい

うなウイルスはありません。新興感染症の原因ウイルスの

多くは、RNAウイルスであるというのが大きな特徴です。

### † 遺伝子変異

ウイルスの遺伝子変異の特徴についてご紹介します。ウ

発見年	ウイルス名	発見年	ウイルス名
1969	ラッサウイルス	1994	ヘンドラウイルス
1973	ロタウイルス	1995	ヒトヘルペスウイルス8型
1977	エボラウイルス	1997	インフルエンザH5N1
1980	ヒトT細胞白血病ウイルス	1998	ニパウイルス
1981	ヒト免疫不全ウイルス	1998	ウエストナイルウイルス
1988	ヒトヘルペスウイルス6型	2003	SARSコロナウイルス
1989	C型肝炎ウイルス	2009	新型インフルエンザH1N1 pdm
1991	ガナリトウイルス	2011	SFTSウイルス
1993	ハンタウイルス	2012	MERSコロナウイルス

図10 主な新興感染症の原因ウイルス

ウイルスはよく変異するといわれますが、この変異しやすさはウイルスによって違います。特に、遺伝子がRNAのウイルスとDNAのウイルスを比べると、RNAウイルスの方が変異率が非常に高いです。例えば、遺伝子が10kbのRNAウイルスが、一回新しい遺伝子を複製すると、その過程で一個から一〇個程度の変異が生じるとされています。新型コロナウイルスはこの三倍の大きさなので、三倍ぐらいの変異が一回の複製で起こることです。これは何千回、何万回も複製する過程で非常に多くの変異が起こることになります。

DNAウイルスはそれに比べると、突然変異率は低いです。DNAから新しいDNAを作るために、DNAポリメラーゼという酵素が使われますが、このDNAポリメラーゼには、間違つて合成されたものを校正する、元に直そうとするような活性があります。リペア活性といわれています。それによって元の遺伝子の情報を維持しようとするような力が、DNAの合成には働きます。それに対して、RNAウイルスの場合は、校正する活性がないか、あるいは、あっても弱いとされています。すなわち、DNAウイルスの場合は、元の配列遺伝子の情報が維持される力が働くのに対して、RNAウイルスの場合はそういうことが起きにくいので、変異が起きやすい、どんどん変化するというこ

とが言えます。RNA型の方がどんどん変異を起こすという性質が、このような新しいウイルスの出現につながっていると考えられています。

#### 十 人獣共通感染症

新興感染症のもう一つの大きな特徴は、その多くが人獣共通感染症であるということです。ヒトと動物の両方に同じウイルスが感染し得ます。元々ウイルスを持っていた動物は、ウイルスとの平和的な共存関係にあったと考えられるのですが、そこに人間が入り込み、それまで人知れず平和に存在していたウイルスを、人間社会に招き入れたことが背景にあると捉えることができます。自然環境の破壊や交通網の発達によって、動物からヒトにウイルスがうつる機会が増えたというのが、一つの背景になっていると考えられています。

#### 十 蚊媒介性感染症の増加

もう一つ、新興感染症の特徴として、蚊を媒介にするような感染症が増えている、ということが挙げられます。これは地球の温暖化に関連しています。つまり、地球の温暖化に伴って冬の最低気温が上昇することにより、ウイルスを媒介するような蚊が冬を越して生きられる、あるいはそ

の蚊の世界的な分布域がより拡大するということが、近年起こっているということだ。

その典型的な例がデング熱です。デング熱というのはデングウイルスの感染によって起こり、高熱を発症します。このウイルスは、ある種の蚊を媒介して人へ感染します。デング熱の発生地域は、冬でも摂氏10度以下にならない地域、すなわち、媒介蚊の生息地域とよく一致しています。温暖化によって、冬でも10度以下にはならない地域が広がると、それに伴ってデング熱の流行地域も広がると考えられます。日本の九州はこの地域に入りつつありまして、静岡もかすっていると言ってもいいのではないのでしょうか。

実際にデング熱の罹患率は世界的に、一九五〇年代から今世紀の初頭まで、非常に増えていきます(図11)。これは地球温暖化の影響で、蚊の生息域

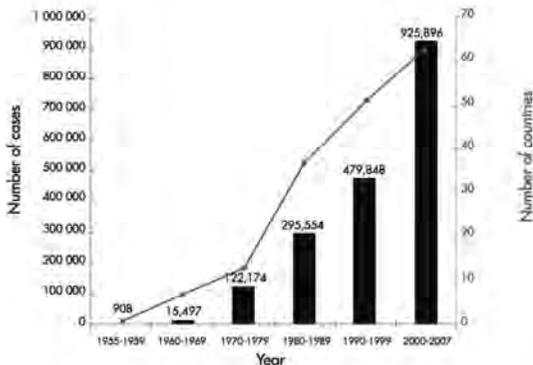


図11 年代ごとのデング熱患者数  
(出典) Average annual number of dengue fever (DF) and dengue haemorrhagic fever (DHF) cases reported to WHO, and of countries reporting dengue, 1955-2007

が広がったことに関連していると思います。これも新興感染症の原因になっています。

### 十海中に存在するウイルス

海の中にどのぐらいウイルスがいるのかを調べた研究が、二〇〇五年の「Nature」に出ています。これは、ヒトに感染するウイルスだけではなく、ありとあらゆるウイルスの構造を持ったものを、海の中から調べたという研究です。ウイルスは、深海では1cc当たり3百万個、沿岸の水には1億個含まれるということが分かりました。そうすると、地球上の海洋全体には4×10の30乗以上のウイルスが含まれると計算されるそうです。ウイルスは海の中で最も遺伝的多様性を持った生命体であると言うことができます。病気との関連がわかっていないウイルスも数多く存在すると考えられます。我々は、このように様々な性質のウイルスが、すぐ近くに存在する環境で生活していることも頭の片隅に置きながら、正しくウイルス、感染症のリスクに接するにはどうしたらいいかということを考えていきたいと思います。

## さまざまなコロナウイルス

### ＋コロナウイルス科

コロナウイルスは、ウイルス学的にコロナウイルス科という科に属します。この種類のウイルスの特徴は、ウイルス粒子の表面に特徴的なスパイクといわれる突起があることです。電子顕微鏡でコロナウイルスの粒子を見ると、粒子の周りに先端が膨らんだ王冠状の構造を見ることができません（図12）。ラテン語でこの王冠のことをコロナといい、ここからコロナウイルスという名前が付いています。粒子表面の構造の形態的な特徴によるものです。

二十年ほど前まで、イス、ネコ、ブタ、マウス、ウシで固有のコロナウイルスが知られていました。家畜の伝染病で非常に問題になるコロナウイルスも分かっていました。それ以外に、ヒトのコロナウイルスも四種類同定されていました。これらは重篤な疾患を起こすわけではなく、特に呼吸器系、風邪の原因ウイルスとされていま

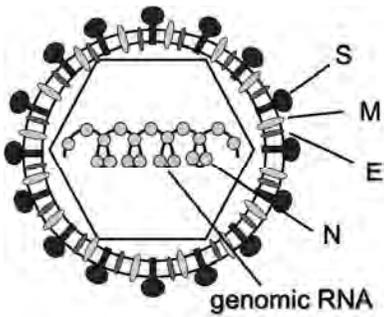


図12 コロナウイルスの特徴的な形状

した。ですから、コロナウイルスは、ヒトには重篤な病気を起こさないウイルスだという認識でありました。ところが、二〇〇三年にSARSコロナウイルスが大流行するということが起きました。その後、二〇一二年にMERSコロナウイルスが出現し、二〇二〇年、正確には二〇一九年でしょうか、新型コロナウイルスが出現したという経緯です。

### ＋SARSコロナウイルス

SARSはsevere acute respiratory syndrome（重症急性呼吸器症候群）の略です。発端は、二〇〇三年二月にベトナム・ハノイの病院で、医療スタッフを中心とした急性肺炎の流行が見られたことです。その後、原因を調べて分かったのは、中国系のアメリカ人の男性で、少し前に上海および香港に滞在歴があった方がベトナムに入国して、この急性肺炎がベトナムに持ち込まれたということです。従って、元はベトナムではなく、恐らく中国だろうということになったわけですが、二〇〇三年当初はあまり情報が出てきていなかったため、感染源は不明な時期がありました。

感染経路は飛沫や接触感染が主体で、感染源になるのは有症者、症状が出た人だけであることが一つの特徴です。

これが新型コロナウイルスとの大きな違いです。一方、スーパー Spredding (super spreading) という、一人から一〇人以上に感染し得るといようなケースが分かってきて、これはこのSARSの非常に怖いところだということになりました。主な症状は非定型の肺炎で、呼吸器不全によって亡くなることもあり、致死率は約一〇%に及ぶことが分かってきました。

SARSが世界的な問題になってから、主に行われたのは水際作戦で、国に入れないということでした。ベトナムと中国・香港のSARS対応を対比してみると、ベトナムは最初に患者が報告されたところですが、情報を非常に多く開示して、ある病院から市中に疾患がまん延する手前の病院の中で、感染者を囲い込むことに成功しました。情報を公開して、WHOや日本などの援助を積極的に受け入れたことで、ベトナムはいち早く制圧宣言を出すことができました。そのような成功例でした。

それに対して中国・香港は、SARSの発生地で、二〇〇三年二月に表沙汰になる以前から、SARSが広がっていた可能性が高いものの、まったく情報が出ていませんでした。情報が広がっていなかったことから、既に一部の町から中国の中でまん延しつつあったというのが、中国の実態でした。情報の公開が遅れ、国際的な調査や援助

を受け入れなかったことを非難されたという経緯があります。

世界的には二年ほどの間で八千数百人の感染者が出て、九〇〇人ほどが亡くなりました。その後、世界での水際作戦、囲い込みを徹底的にやったことにより、現在は終息しています。この当時、中国の情報の公開が遅れたことが非難されましたが、新型コロナウイルスのケースでは、その頃に比べると中国はかなり情報を出しているように思います。ただ、依然として世界の他の国からは、情報公開についてまだ十分ではないという指摘を受けているのはご存じのとおりです。SARSは非常に情報公開の遅れを指摘されたケースでした。

#### † MERSコロナウイルス

二〇一二年に、MERS (Middle East respiratory syndrome coronavirus: 中東呼吸器症候群) コロナウイルスが発生しました。発端はイギリスで見つかったのですが、中東からイギリスに帰国した人が重症の肺炎を発症して、後に中東地域から持ち込まれたのだろうということが明らかになって、MERS (Middle East respiratory syndrome coronavirus) という名前が付けられました。中東地域においてその原因が調査され、ヒトコブラクダと

の接触が危険であるということがいわれています。地域としては、サウジアラビア、イエメン、オマーンなどの国々がハイリスク地域です。これは今も変わっていません。

MERSの症状としては呼吸器症状で、SARSに比べて軽症なものもありますが、重症なものもやはりあるという事です。そのような呼吸器系の症状以外に、腎不全や播種性血管内凝固症候群などの合併症例も報告されています。血管内凝固症候群、血栓ができるような症状の合併症は、新型コロナウイルスでもいわれています。

感染経路は、ヒトコブラクダが非常に関わっているという事は、今では自明です。これは、新型コロナウイルスやSARSとは大きく違う点です。患者から分離されているMERSコロナウイルスとまったく同じウイルスが、ヒトコブラクダからも分離されているということです。ちなみに、フタコブラクダでは見つからないということになっています。この特徴の違い、選択性は何かということとは、まったく分かっていません。

MERSは、二年に一度ぐらい、間欠的に、百数十人程度の感染者が発生することが知られています。二〇一五年、韓国で数十人規模の感染者が出ました。中東地域から帰国した方によって持ち込まれたのが発端で、まさかMERSだということを経験でも疑っていなかったことから、感染

が広がってしまったといわれています。中東地域以外で、まともな数十人規模の感染者が一時期に出たというケースは他にありません。韓国はこのときの教訓から、新型コロナウイルスのケースでは、日本に比べて病原体の検査を徹底的にやったと聞いています。

#### 十家畜のコロナウイルス

ブタの流行性下痢症の原因ウイルスとしてよく知られているコロナウイルスがあります。二〇一四年に日本で、ブタのコロナウイルスによる流行性下痢が流行しました。ブタのコロナウイルスは時々、家畜の中で大流行する一方で、常在型の感染様式もあるということが知られています。同じウイルスでも、流行型と常在型が見られるというのが、ブタのコロナウイルスの厄介なところなんです。もしかすると新型コロナウイルスも、ここまではいらないかもしれませんが、SARSやMERSに比べて、このようなブタのコロナウイルスに近いような性質を持っているかもしれないというのも、これから分かってくることだろうと思います。

## 新型コロナウイルス

### 十 新型コロナウイルスの特徴

ここからは新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) です。当初は2019-nCoV-2という、二〇一九年のnewコロナウイルスという名前の付け方をされていました、今この用語を使う人は、ほとんどいないと思えます。SARS-CoV-2というのが一般的な呼び方です。COVID-19というのはウイルスの名前ではなく、SARS-CoV-2による感染症の病気の名前、総称ということになります。

世界全体では、二〇二一年九月十八日時点で、累計の感染者は約二億二七〇〇万人、死亡者数は四六六万六三三四人と報告されています。

コロナウイルスの顕微鏡像の形から、SARS、MERS、あるいは他のコロナウイルスと区別することは非常に難しいです。どれも同じような王冠状の構造物を、粒子の周りに持っているということは変わりません。ちなみに、テレビなどで時々カラーで出ている顕微鏡像は、コンピュータ上で見やすくするために色を付けられたもので、ウイルスそのものがそのような色をしているということはありません。

ウイルス学的な特徴を調べる目的で、これまでに見つ

かっているコロナウイルスと新型コロナウイルスの遺伝子が、徹底的に解析されています。各ウイルスの遺伝子情報の同一性、あるいは違いでグループ分けした分子系統樹を見ると、新型コロナウイルスに一番近いのはSARSコロナウイルスです。他に近いところにコウモリのコロナウイルスがいることがわかっています。そのことから、恐らくSARSコロナウイルスは、元々コウモリからきたのだらうと考えられているわけです。

また、いろいろなコロナウイルスについて、こういった動物を経てヒトに至っているかという解析も行われています。SARS、MERSはいずれもコウモリが元々の宿主であって、SARSはハクビシンやタヌキ、MERSはヒトコブラクダを媒介してヒトに來たと考えられています。こういった解析の根拠になっているのは、それぞれの動物で見つかるウイルスの遺伝子情報の解析と、それらの間での比較のデータです。

### 十 致死率と基本再生産数の比較

二〇二〇年二月の「ニューヨーク・タイムズ」の記事を基に、いろいろなウイルスについて致死率と基本再生産数(患者一人から感染する人数)を比較してみます(図13)。新型コロナウイルスの致死率は四・五%以内、基本

再生産数は一・五〜三・五です。それに対して、天然痘の致死率は約三〇%、基本再生産数は約五、スペイン風邪の致死率は約一〇%、基本再生産数は約二で、致死率が高いです。SARS、MERSも致死率が高く、SARSは致死率が約一〇%、基本再生産数が約三、MERSは致死率が約三五%、基本再生産数が約一です。また、季節性インフルエンザは致死率が約〇・一で、基本再生産数が約一です。新型コロナウイルスは、季節性のインフルエンザよりも感染が広がりやすく、また、致死率も少し高いというような位置付けになります。

なお、基本再生産数は、よくテレビで出てくる実効再生



図13 他のウイルスとの基本再生産数と致死率の比較 (出典) New York Times (Feb, 2020)

産数とは少し違います。実効再生産数というのは、実際に今、一人の患者から何人にうつっているかを表しているもので、いろいろ対策を取り、感染経路を遮断するような措置をした上で、実際にどのぐらいの人に感染しているかという数ですが、基本再生産数というのはまったくそういう措置をしない、ノーガードの状態でのどのぐらいうつるかという数字です。実際の社会で起こっている再生産数より高い数字が出ているということをご理解ください。

二〇二一年九月十八日時点での、世界の新型コロナウイルス新規感染者数の推移を見ると、日本を含む西太平洋地域は、最近少し増えている傾向のある地域だと言えることができるかもしれません。

#### 変異株の出現

現在、変異株がどんどん出現していることが話題になっています。新型コロナウイルスの遺伝子は三万塩基ぐらいの長さですが、その中で、コロナウイルスの構造上の特徴であり、また、細胞に感染する際に最も重要な役割をするスパイク遺伝子領域が多様性に富んでいて、変化しやすいことが分かっています。

二〇二一年九月の時点で、懸念されている変異株は四種類で、アルファ株、ベータ株、ガンマ株、デルタ株です

(図14)。二〇二〇年十月はガンマ株が一番多く、その次がベータ株でした。ところが、二〇二一年四月以降になると、デルタ株がどんどん増えてきて、今では八割ぐらいがこのデルタ株になっています。このように、増殖しやすい変異株が出現すると、それに置き換わっていきます。

今一番メジャーになっているデルタ株は、二〇二〇年十月にインドで初めて見つかり、当初はインド株といわれていたのですが、今はデルタ株という名前で統一されています。感染性が高い可能性があり、重篤度も高い可能性が考えられます。感染性の高さについて数字が出ていないのは、明らかに言えるような数字が、研究報告としてまだ確立さ

PANGO系統 (WHOラベル)	最初の検出	主な変異	感染性 (従来株比)	重篤度 (従来株比)	再感染やワクチン効果 (従来株比)
B.1.1.7系統の変異株 (アルファ株)	2020年9月 英国	N501Y	1.32倍と推定※ (5~7割程度高い可能性)	1.4倍 (40-64歳 1.66倍) と推定※ (入院・死亡リスクが高い可能性)	効果に影響がある 証拠なし
B.1.351 系統の変異株 (ベータ株)	2020年5月 南アフリカ	N501Y E484K	5割程度高い可能性	入院時死亡リスクが高い可能性	効果を弱める可能性
P.1系統の変異株 (ガンマ株)	2020年11月 ブラジル	N501Y E484K	1.4-2.2倍高い可能性	入院リスクが高い可能性	効果を弱める可能性 従来株感染者の再感染事例の報告あり
B.1.617.2系統の変異株 (デルタ株)	2020年10月 インド	L452R	高い可能性	入院リスクが高い可能性	ワクチンと抗体医薬の効果弱める可能性

図14 懸念される変異株 (2021年9月)

れていないことだと思えますが、恐らく、他のガンマ株、ベータ株と同等か、それ以上の高い感染性を持っていると言えると思います。スパイクタンパク質に変異が起こったことで、ワクチンや抗体薬の効果を弱める可能性があり、デルタ株が広がってきたことで、なかなか排除しにくいウイルスだと考えられるようになってきています。

#### 十 日本の新規感染者数と死者数の推移

日本における死者数、新規感染者数の推移を見ると、死者数は、二〇二〇年の春に一つピークがあつて、その後、二〇二〇年の冬から二〇二一年の六月ごろまで、大きなピークがありました。いったん下がった後、第五波の流行によってまた死者数が上がってきていますが、感染者数が多い割には死者数のピークは第三波、四波に比べると低いです。それと対比して感染者数の推移ですが、二〇二一年夏の第五波が突き抜けて感染者数が多いです。一週間で二万人ほどの感染者が出たこともありましたが(図15)。しかし、その割には死者数が少なめでした。

こういった傾向は日本だけではなく、世界的にも出ています。日本とアメリカにおける死亡率の推移を見ると、二〇二〇年の春ごろの、なかなか治療法が確立しておらず、対処する情報が不足していた時期には、非常に高い死亡率

になっていましたが、現在では日本では1%程度、アメリカでも1.6%程度です。今、死亡率が下がってきているというのが、全体的な傾向です。特に、最近死亡率が下がってきている要因としては、新型コロナウイルスワクチンの普及があります。

#### 十 新型コロナウイルスワクチンの開発

ワクチンは、接種が必ずしも進んでいないところもあるとか、日本はワクチンの導入が遅くなったというようなこともいわれていますが、このワクチンは、従来の歴史的なワクチン開発と比べると、一年という断然速いスピードで実用化されました。これまでは、十数年かけて新しいワクチンが開発されて、実用化されてきましたが、それがほんの一年で実用化されたというのは、極めて驚くべき速さです。

この背景にあるのは、SARSやMERSが十年から二十年ぐらい前に発生したときに、SARSやMERSに対するワクチンの開発研究が進められていたことです。まだどちらも実用化はされていませんが、SARSやMERSについての基

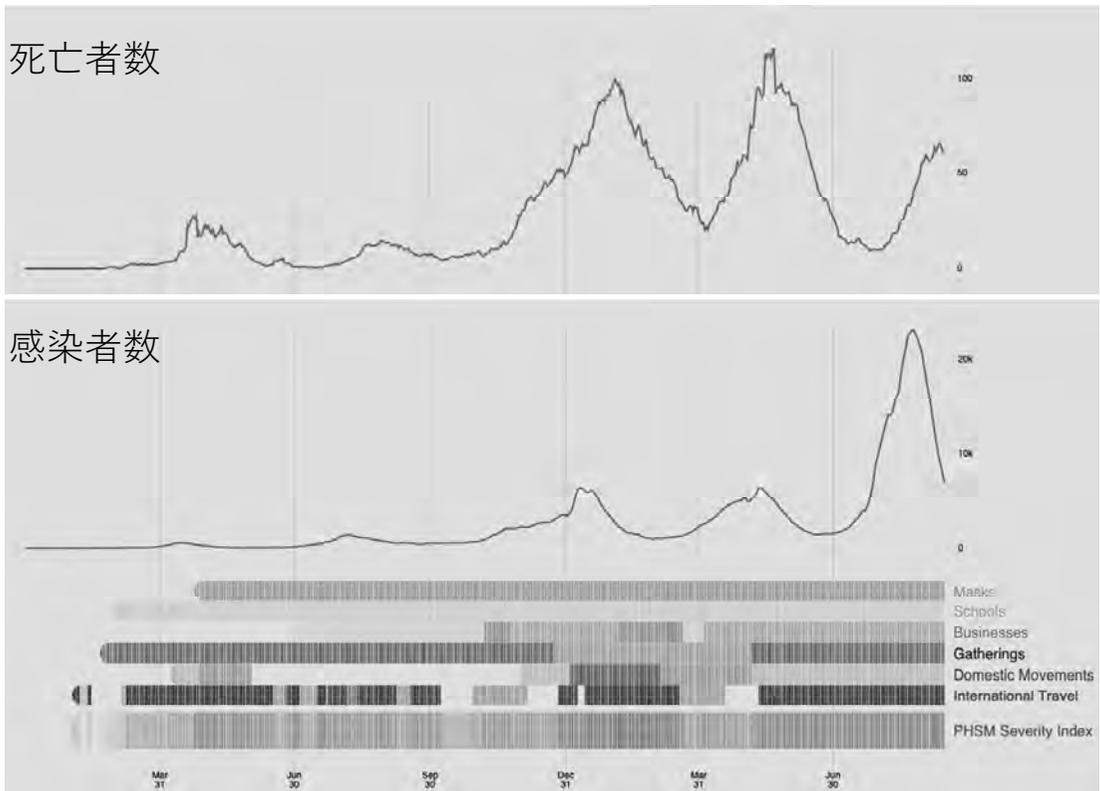


図15 日本の新規感染者数と死亡者数の推移 (Sep 18, 2021)

基礎研究の知見から、新型コロナウイルスについて、どうい  
うワクチンを作ればいいのかという設計が、すぐに立てられ  
たということが一つの要因です。

また、mRNA（メッセンジャーRNA）の研究が非常  
に進歩したということです。ワクチン開発に限らず、遺伝  
子治療などの観点から、mRNAを医薬品として使う試み  
は、二十年ぐらい前から行われていました。しかしながら、  
体に外来のmRNAを導入すると、それを生体が異物とし  
て認識して、異常な免疫が惹起される、mRNAから翻訳  
されたタンパク質が得られない、免疫抗体によってmRNA  
Aが毒性につながる、というような後ろ向きのエビデンス  
がたくさん分かっていまし  
た。数年前、塩基の一つウ  
リジン（pseudouridine）  
という形にすることで、こ  
のようなmRNA医薬品開  
発の障壁を乗り越えられる  
ことが分かりました（図  
16）。このタイミングと、  
新型コロナウイルスのワク  
チン開発のニーズとのタイ

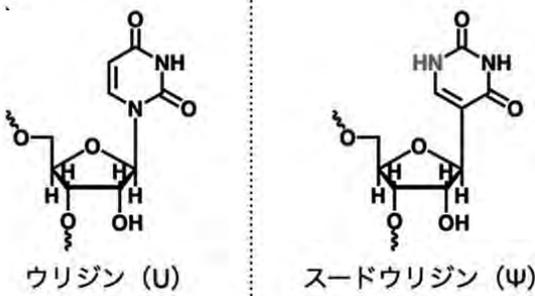


図16 ウリジンとスードウリジンの構造式

ミングが非常にうまく合って、mRNAを使ったワクチン  
開発が急速に進んだということになります。

また、世界的に新型コロナウイルスの大きな流行が起  
こっていたので、大規模な臨床試験がいち早く可能だった、  
という背景もありますし、アメリカなど、幾つかの国が非  
常に多額の資金を投入して、日本もそれなりに資金を投入  
しておりますが、企業のワクチン開発をバックアップする  
という体制が取られて、非常に短期間でワクチンが実用化  
したということです。これは非常にいいことだと言えると思  
います。これからも、いろいろな新しい感染症が発生す  
る可能性は十分ありますが、そういうときにこの経験が生  
かせると思います。

#### ＋ワクチンの接種

以上のことから、現在もワクチンの接種が進んでいます。  
二〇二二年九月十八日時点で、日本は一回打った人の割合  
が六六%と、ドイツと同じぐらいまで来て、だいぶキャッ  
チャップは進んできたと言えると思います。接種率を一層  
上げることが重要になると思います。今般、一様に  
ニュースで言われているとおりです。

ワクチンの接種について、今後の課題、あるいはポイン  
トになる点を挙げてみます。

一つ目は、ワクチン接種の年齢層をどこまで広げるかです。若い世代にどのぐらいワクチンを打つべきかということとは、まだなかなか悩ましいところもあると思います。小さい子どもは、臨床実験のデータが少ないということもありますし、また、重症化する患者があまり多くないということもあります。一方では、副反応がどのぐらい出るかが、まだはっきり分からないということもあるので、接種年齢層をどこまで広げるかというのは、一つのポイントになると思います。

二つ目は、いつから三回目接種を行うかです。二回接種後、だんだん抗体価が下がっていくことが知られています。

三つ目は、いつ新規のワクチンへ切り替えるかです。国内で開発されているようなワクチンに切り替える時期が来るかもしれません。そのタイミングはいつが適切かというのも、考えどころだと思います。また、mRNA型が中心だと思いますが、抗原を新しい変異株に対応するように切り替えたワクチンも、今、臨床実験されていると聞いています。これから打つワクチンを、そういった抗原の違うものに切り替えるタイミングが来る可能性が十分あります。

また、mRNA型のワクチンに含まれているポリエチレングリコールという物質が、恐らく発熱の要因になっているといわれていますが、特にこういった副反応がこれまで

のワクチン接種で顕著だった方は、mRNA型ではないワクチンに切り替えることも選択肢として考えるべきだと思います。これをどのタイミングでやるかというのもポイントになります。よりワクチンを有効に使うための戦略も、これからもう一段工夫する時期が来ると思います。

#### 十 新型コロナウイルス感染症の症状

新型コロナウイルス感染症の典型的な経過は、発症すると八〇%ほどは軽症のまままで治癒し、二〇%は重症化して、

二〜三%が集中治療室で治療を受ける必要が生じるといわれていますが、今ここで申し上げたいのは、発症される方ではなく、それ以外にまったく症状が出ない、不顕性の感染で推移するケースが、それ

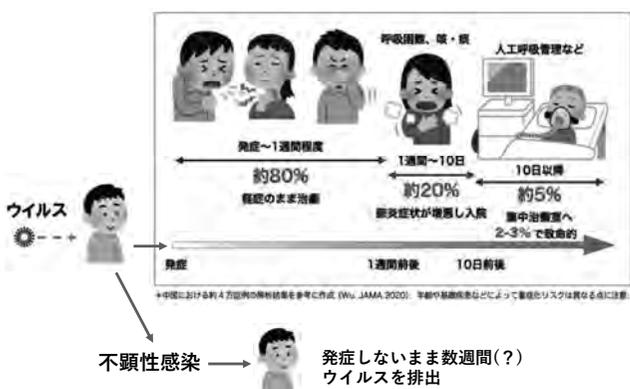


図17 新型コロナウイルス感染症の典型的な経過  
 (出典)「新型コロナウイルス感染症(COVID-19)診療の手引き・第5.1版」より  
 URL: <https://www.mhlw.go.jp/content/000801626.pdf>

なりの数あることが分かかってきているということですが（図17）。何パーセントかというはつきりした数字はまだ出ていないと思いますが、不顕性感染が相当数発生していることが分かっています。このような症状が出ない不顕性の感染者の場合でも、症状が出ないまま数週間、ウイルスを排出し得るということも分かっています。これは非常に厄介なこと、この新型コロナウイルス感染症を終息させるための障害になっています。

不顕性感染者が多いということが新型コロナウイルス感染症の大きな特徴だといわれることがありますが、実際にはいろいろな感染症でこういうことは起きていて、特に新型コロナウイルス感染症に限ったことではありません。例えば、ノロウイルスは食中毒や感染性胃腸炎の原因のウイルスですが、このウイルスも感染に気が付かない、不顕性の感染が相当数存在するということが、今では明らかになっています。ノロウイルスの感染症は、毎年秋から冬に多く、春になるとだんだん終息することが知られています。流行のはじめは、不顕性の感染者からその周りにいる子どもやお年寄りといった弱者に感染し、感染した人が発症して、そこからヒトからヒトへの感染が広がっていく、という流れです。新型コロナウイルスもこれに近いところがあります。

政府の新型コロナウイルス感染症対策分科会の尾身会長が十五日に、国会の委員会で「季節性のインフルエンザと同じように、社会の不安感がなくなるには二〜三年かかるのではないか」という見通しを示しました。私も恐らくそうなるだろうと思います。

この不安感がなくなるまでの期間が、二年以内になるのか、あるいは三年以上かかるのかのポイント、今後の見通しを左右するポイントとして、四項目を挙げてみます。一つ目は、ワクチンの接種体制を一層推進することです。これは先ほどご紹介したとおりです。二つ目は、医療提供体制の一層の整備です。医療提供体制は、まだまだ十分整備されていないところがあると思います。三つ目は、治療薬の開発です。どれだけ有効なものが出てくるかということが、ポイントの一つです。四つ目は、新しい変異株として、どのようなものが出現し得るかです。

### ウイルス感染のリスクに向き合う

新型コロナウイルスに限らず、感染対策としては、感染源の排除、感染経路の遮断、宿主の抵抗力の向上、の三つを同時に進めて考えることが非常に重要です。

新型コロナウイルスの場合、感染経路対策は、個人レベ

ルでやれることとしては、これまで行ってきた標準的な予防策、マスクをする、接触を控える、といったことを継続する以外にないと思います。感染源の排除に向けた対策としては、不顕性の感染に注意することが重要です。これはなかなか分かりにくいのですが、感染者が出たときには、その周りに不顕性の感染が、それなりの数いるということをも十分想定する必要があるのです。それを機に、適切な病原体の検査を迅速に行うことが非常に重要です。宿主の抵抗力を上げるためには、ワクチン接種を行うとともに、健康な日常生活を送ることで体の免疫力を維持することも大事です。

しかし、感染はいくら注意していてもゼロにはならないので、われわれ自身が感染してしまう可能性はあります。いったん感染が分かった場合は、冷静かつ迅速に対応することが非常に重要なので、普段から、例えばかかりつけのお医者さんがいれば、そこにあらかじめ相談しておくということも大事かもしれません。迅速な対応をするためのやり方を、個人個人が理解しておくことが重要です。感染者が周りにいた場合には、そういった人たちに差別的な対応が起こることがないように配慮することも、非常に重要です。

## ウイルス学

最後に、ウイルス学について、私の仕事を少しだけ紹介させていただきます。ウイルス学とは、ウイルスがどのようにして増えるか、どのように病気を起こすかということを明らかにする学問です。その結果が新しい治療法や診断法につながり、皆さんの役に立つということになります。私はC型肝炎ウイルスを主に研究対象として、この数十年やってきました。C型肝炎ウイルスというのは、一九八九年にアメリカのベンチャー企業が発見した、比較的新しいウイルスで、新興感染症ウイルスの一つです。

その後、世界中で、われわれも含めて、多くの研究者が研究を行い、研究の成果が治療法の発展につながり、治療率の上昇につながりました。一九九一年には十数%だった治療率が、現在では九〇%以上になっています。「C型肝炎は治る病気です」というキャッチフレーズを、テレビのコマーシャルなどで聞かれたこともあるかと思います。世界中の多くの研究者が研究した成果が、治療法の開発につながってきたい例だろうと思っています。

二〇二〇年のノーベル医学・生理学賞は、このC型肝炎ウイルスの発見で貢献のあった三人の研究者が受賞するという、非常に喜ばしいことが起こりました。ウイルスが見

つかってから三十一年目に、ノーベル賞に至ったということ  
とです。

二〇一六年に、日本でC型肝炎の国際シンポジウムが開  
かれたときに、私も主催者の一人でしたが、ノーベル賞受  
賞者のお一人、マイケル・ホートン博士も参加されました。  
今、新型コロナウイルス対策で、政府の有識者会議の座長  
をしている脇田隆字先生も参加されていて、われわれの研  
究仲間です。このように、ウイルス学の発展は、診断法や  
治療法の開発につながり、世の中のためになっているので  
す。

# 感染症ウイルスを測る

朴 龍洙

## 感染症の歴史

### 十感染症と闘った歴史

感染症というと、二年前（二〇一九年）に起こった COVID-19（新型コロナウイルス感染症）、これに尽きると思います。二〇二一年九月二十七日のデータでは、既に二億三〇〇〇万人以上が感染し、四七〇万人以上の死者が出ています。コロナウイルスは、ウイルス学的軽い風邪を引き起こす病原体です。しかし、新型コロナウイルス（SARS-CoV）は、コウモリのコロナウイルスがヒトに感染して重症肺炎を引き起こすものです。

なぜ多くの死者が出たのか、ウイルス学者の話によると、このウイルスは、咳や飛沫を介してヒトからヒトへと伝播する市中感染により感染が広がり、心臓病や糖尿病などの基礎疾患を患っている患者及び高齢者の被害が多いということです。実際のウイルスはマスクのフィルターの目より

小さいですが、ウイルスを含んだ飛沫は水分を含むため大きくなり、フィルターの目に引っ掛かるので、マスクをした方が安全ではありますが、完全に感染を防御することはできません。

さらに、現代社会の特徴の一つであるグローバル化がウイルス感染を広げる一つの要因となります。こんなに広い世界にもかわらず、短時間でウイルスの感染が広がられることが証明されました。一日あれば大陸を横断できるので、感染症は対応を間違ったら、本当に大変なことになってしまうということが新型コロナウイルスから分かりました。

では、感染症は現代の問題なのかというと、そうではありません（図1）。人類が感染症と闘った歴史を見ると、六世紀ごろの天然痘で、約一〇〇〇万人が亡くなりました。それが十五世紀にもう一度は流行りました。

マラリアは蚊が媒介するもので、六世紀に発生して、

二十一世紀もはやっています。ハンセン病は、十三世紀、十五（十六世紀にはやったかなり大変な病気でしたが、最近ではあまり見られませんが、ペスト（死者の皮膚の色が黒ずんで見えたことから黒死病とも呼ばれる）によって十四世紀のヨーロッパの人口の三分の一が減りました。ペストの発生により一日一万人が亡くなり、これでヨーロッパの歴史がかなり変わったといわれています。コレラは、十九世紀にはやりま

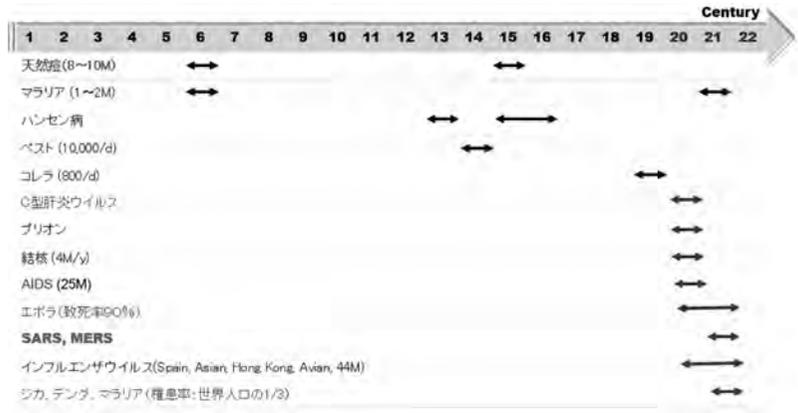


図1 感染症と闘った歴史

した。二十世紀に入ると、生命科学が発展し、たくさんの新規ウイルスが同定され、いろいろな感染症の名前が知られる

ようになります。C型肝炎ウイルスも、二十世紀に発見されたウイルスです。プリオンはウイルスではなくタンパク質ですが、二十世紀に発見されました。結核は、まだ年間四〇〇万人の被害者を出しています。AIDS（後天性免疫不全症候群）はまだ進行中です。エボラウイルスは、罹患すると九〇%が死亡します。これらのウイルスは二十世紀、二十一世紀にかけてたびたび出現します。

SARS（重症急性呼吸器症候群）、MERS（中東呼吸器症候群）は、二十一世紀に入ると出たり、消えたりしています。インフルエンザウイルスは、毎年冬になるとスペイン風邪、アジア風邪、香港風邪、鳥インフルエンザなど次から次へと新しい変異種が出現しました。今年、どういものが出てくるかが予測できないので、安心できません。

今台頭している一番大きな病気は、ジカ熱（ジカウイルス感染症）、デング熱、マラリア、つまり、蚊によって媒介される感染症です。罹患率を見ると、全世界の人口の三分の一がこれらにかかる確率が高いといわれている大問題になっています。

日本ではジカウイルス、デングウイルスは見られなかったのですが、二〇一六年、代々木公園でデングウイルスを持った蚊が発見され、代々木公園を一カ月間閉鎖しました。

地球温暖化が進んだことで、東南アジアから蚊が北上していることは間違いないと思います。いずれ日本にもジカウイルス、デングウイルス、マラリアが出現するでしょう。このように、細菌或いはウイルスによる感染症・伝染病は人類の歴史が続く限り、果てしなき闘いが続くだろうと私は思っています。

### 十 伝染病が動かした歴史

感染症・伝染病が発生すると、必ず社会に大きな変化が起こります。主なものを表1にまとめてみました。

ペストはネズミのノミからうつる病気で、病原体は細菌です。ペストはヨーロッパで一三四七年発生し、当時の貴族中心の中世封建領主制度社会を変革させました。労働者が畑で働いている間に、ペストによってばたばた倒れてしまい、労働者の不足を招き、中世の封建領主制度の崩壊につながりました。

コレラも細菌です。この病気は最初にイギリスで発見されましたが、後に飲料水から感染することが分かり、これが切っ掛けで全世界で上水道、下水道が整備されました。公衆衛生上、ものすごく大きな貢献をしたのは、実はコレラだったのです。

天然痘は、インカ帝国が滅亡した大きな原因だといわれ

ています。スペイン軍がたった六〇〇人で侵攻して、インカ帝国を滅亡させたのは、スペインから持ち込まれた天然痘が原因で、免疫がまったくないインカ帝国の人々や軍人につつてしまつて、全滅したという話があります。

アフリカでは黄熱病がはやり、十七世紀から始まつたパナマ運河の建設が大幅遅延されました。

日本脳炎は、日本だけで発生するものではありません。アジア全域で発生しますが、これによって日本では法定伝染病という法律が整備されました。

ポリオは主に子どもにかかる病気で、かかると体がまひします。現在は、ワクチンが開発されて、この病気はなくな

表1 伝染病が動かした歴史

病名	病原体	発生場所	発生次期	感染経路	被害状況	社会への影響
ペスト	細菌	ヨーロッパ	1347年	ネズミのノミ患者から直接	2,500万人死亡	中世封建領主制度の崩壊
コレラ	細菌	ヨーロッパ アジア	19世紀	飲料水による 経口感染	— 10万人死亡	上下水道の整備 公衆衛生法の制定
天然痘	ウイルス	アメリカ大陸 日本	16世紀 737年	飛沫感染	約2,000万人(推定)	インカ帝国の滅亡 ワクチン
黄熱病	ウイルス	ラテンアメリカ	17-19世紀	蚊		パナマ運河建設遅延
日本脳炎	ウイルス	アジア	1955	蚊	約1,000~2,000人感染	法定伝染病と指定
ポリオ	ウイルス	スウェーデン、 アメリカ、アジア	19世紀~20 世紀前半	経口感染	訳10,000人以上死亡	ワクチンの開発により終焉
風邪	ウイルス	世界全域	20世紀	飛沫感染	5,000万人以上死亡	第1世界大戦の終結
マラリア	ウイルス	世界全域	20世紀	蚊	特効薬キニーネの入手が 不可	第2世界大戦時旧日本軍 の敗北
発疹チフス	リケッチア	ヨーロッパ	20世紀	シラミ	ナポレオン軍の大量感染	ナポレオン軍の敗北

なったといわれています。

第一次世界大戦がインフルエンザによって終結しました。ちょうどスペイン風邪がはやったとき、連合軍側とドイツ側の兵士の多くがスペイン風邪にかかって戦場で戦えなくなっていました。結局、両方とも戦争ができなくなったために第一次世界大戦が終わったと言われています。

マラリアも日本と深い関係があります。マラリアは、特に東南アジアやアフリカで蚊によって媒介されます。このマラリアには、キニーネという特効薬があります。第二次世界大戦で旧日本軍が東南アジアに侵攻したときに、蚊によってマラリアにかなり悩まされましたが、連合軍がキニーネを全部買い占めてしまったので、日本軍は特効薬を入手できず、戦争ができない状態となり、結局、敗北してしまつたと、歴史的な事実として語られています。

発疹チフスの病原体はリケッチア (rickettsia) で、発生時期は二十世紀、感染経路はシラミです。ナポレオン軍がロシアに侵攻して、勝利を目の前にしていたときに発生したのが発疹チフスです。ロシア軍は、発疹チフスに対する免疫を持っていたためそれほど被害がなかったのですが、ナポレオン軍にはこの新しい病気の免疫を獲得する時間がなく、大量感染し、結局、戦争ができなくなりました。ナポレオン軍がロシアで敗北してしまつたのも、このよう

な伝染病あるいは感染症が絡んでいると学者たちは述べています。

#### 十 伝染病研究の偉大な研究者

感染症・伝染病が発生すると、必ず偉大な研究者も一緒に現れます(表2)。例えば、エドワード・ジェンナーは、初めて種痘を開発し天然痘のワクチンを作った研究者です。人工的免疫法がこれで開発できるということ、人類史上初めて証明した偉大な研究成果です。

一八〇〇年代後半に、フランスではルイ・パスツール、ドイツではロベルト・コッホという有名な学者が生まれました。パスツールはワインがなぜ酸っぱくなるかという原因を完璧に究明した方です。その成果が殺菌法

表2 伝染病研究関係の偉大な研究者

名前	時期	功 績		
ジェンナー	1789年	天然痘ワクチンの発見	種痘の開発	人工的免疫法
パスツール	1865年	ワインの腐敗の原因を究明 カイコの伝染病の原因究明 (微粒子)	熱殺菌の開発 フランスの養蚕業の復活 ニワトリや狂犬病ワクチン	パスツールライゼーション
コッホ	1882年	炭疽菌、結核の原因究明	細菌の確認、染色法の開発	細菌を試験管で培養
バイヤインク	1898年	ウイルスの発見。	“生命を持った感染液体”	ウイルス研究
マックス・クノール & エルンスト・ルスカ	1930年	電子顕微鏡開発	タバコモザイクウイルスの正体を明かす。	ウイルスの可視化、 ウイルスがタンパク質で出来ている。

の開発につながり、現在の牛乳の殺菌などに使われるパステライゼーション（低温殺菌法）を確立しました。また、パストゥールは絹糸を作るカイコの伝染病の原因も究明して、フランスの養蚕業を復活させました。その他にも、ニワトリや狂犬病に対するワクチンを開発して、人々の命を救いました。

コッホは、炭疽病、結核の原因を究明しました。両方とも細菌です。細菌を確認する方法がなかった時代にコッホは、細菌の染色法を世界で初めて開発し、細菌を試験管で培養できる方法も開発しました。この二人の偉大な科学者によって、生命科学は飛躍的に発達しました。

同じく一八〇〇年代後半、バイヤインクがウイルスを発見しました。それまでウイルスという概念はありませんでしたし、ウイルスという名前もありませんでした。細菌の場合、セラミツクの細かい穴を通らないという認識だったのですが、そのセラミツクのろ過器を通ったにもかかわらず、感染する力がある「生命を持った感染液体」があることを、バイヤインクが証明しました。つまり、ろ過器を通っても感染する何かがあるということを見つけたのです。

その約三十年後、このウイルスを実際に目で見られるようにしたのが、マックス・クノールとエルンスト・ルスカ

の二人です。電子顕微鏡を開発して、最初に見たのはタバコモザイクウイルスです。この正体を明確に電子顕微鏡を通して見ることができたということで、細菌より小さいものが存在し、それがウイルスであることを可視化したのが大きな業績です。さらに、ウイルスがタンパク質でできていることも、この二人が解明しました。この二人が電子顕微鏡を開発したことによって、ウイルス研究が飛躍的に発展することになりました。

#### ＋感染症との戦い―エボラウイルスの教訓

一番恐ろしいのはエボラウイルスです。一九七六年、エボラウイルスによるエボラ出血熱が発生しました。一九九五年には、コンゴ共和国のキクウイトで、エボラ出血熱の流行が始まりました。

感染症コントロールで最も大事なものは、最初の発生に対する対応です(図2)。いつ、どこで、何名が感染したのか。もつと大事なのは、感染源は何かということです。感染症原因ウイルスの迅速同定ができないと、対策が取れません。キクウイトでの感染拡大は、最初は赤痢だと判断し、赤痢の対策を取ったため、結局、どんどん感染が広がってしまい、治療もできない、隔離もできない状況で、病気が拡散してしまいました。しかし幸いなことに、一九七六年の

エボラウイルスの発生時に関わったムエンベ博士の経験が生かされ、エボラウイルスではないかと疑い、サンプルをアメリカのCDC（アメリカ疾病予防管理センター）に送り、そこで初めて、エボラウイルスであったことが確認されました。その間、ずっと感染が広がっていました。一番初めの感染原因ウイルスの迅速同定がいかに重要か、如実にもの語っています。これができないと被害はどんどん広がってしまい、手を尽くせない状況になります。

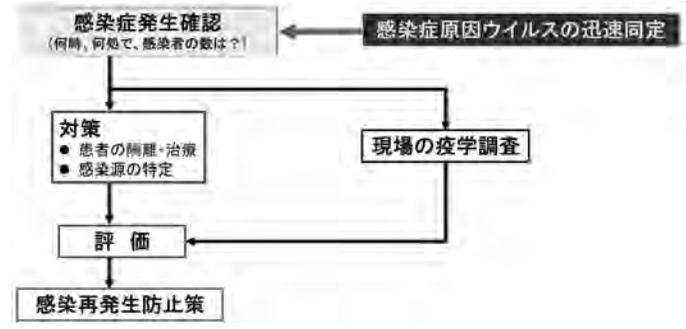


図2 感染症コントロールマニュアル

## ウイルス

### ↑ウイルスとは何なのか

ウイルスは、ラテン語でへビの毒を意味します。ウイルスの一番大きな特徴は、小さいということです(図3)。

センチメートル、ミリメートルのオーダーのものは人間の肉眼で見ることができませんが、マイクロメートルのオーダーの動物細胞や赤血球は、光学顕微鏡で見えます。ウイルスは約一〇〇ナノメートル、つまり一〇億分の一〇〇メートルレベルのもので、電子顕微鏡で見えます。われわれの周りの水分子は〇・一〜一ナノメートルで、原子は〇・一ナノメートル以下です。タンパク質や抗体は約一〇ナノメートルぐらいの大きさです。抗体より少し大きいものがウイルスです。



図3 大きさの比較

ウイルスの構造は、丸いボールのような形、ロケットみたいな形、楕円形、細長いもの、いろいろな形があります。インフルエンザウイルス、SARSコロナウイルスはボール形です(図4)。その周りにスパイクタンパク質と呼ばれるものが付いて

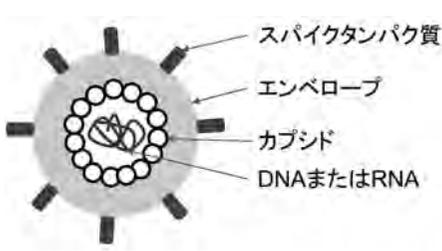


図4 ウイルスの構造

ていて、エンベロープと呼ばれるタンパク質でウイルスの  
中身が包まれています。中を開いてみると、カプシドと呼  
ばれるタンパク質がもう一層あります。カプシドは、大事  
なウイルスの遺伝子、DNA（デオキシリボ核酸）あるい  
はRNA（リボ核酸）を保管する金庫のようなものです。  
このようにウイルスの構造は非常に単純ですが、人間の細  
胞に入ったら、細胞を殺すぐらいの力があります。

### ↑ウイルスの特徴

ウイルスの特徴ですがどの細胞にでも入って悪さをする  
わけではありません。ウイルスは、必ず自分の宿主を見分  
け、自分の宿主にしか入りません。細胞に接近して、これ  
が自分の宿主細胞だと確認できたら、細胞に入ります。入っ  
たらそこでエンベロープタンパク質を脱ぎ捨てて、遺伝子  
を複製する工場である細胞の核に遺伝子だけが入っていき  
ます（図5）。そして、相手の細胞の遺伝子複製システム  
を乗っ取り、すべて自分の思いどおりにします。自分の遺  
伝子をたくさん作ってもらって、一部はまた細胞の外に出  
て、さらに同じように細胞に感染します。これが二次感染  
です。二次感染、三次感染を繰り返すうちに、完全にこの  
細胞を壊してしまいます。ですから、ウイルスは宿主がい  
ない状態で自分一人では増えません。そのため、ウイルス

は生物ではないと言っ  
ている学者もいます。

宿主が動物であれば動  
物ウイルス、植物であれ  
ば植物ウイルス、細菌で  
あれば細菌ウイルス、昆  
虫であれば昆虫ウイル  
スと、ウイルスの数はと  
ても多いです。

さらに、ウイルスとい  
うのは環境に非常に敏感  
に対応します。環境に合  
わせて自分の体を変える  
能力を持っているのです。  
つまり、変異しやすいとい  
うのが特徴です。さらに恐  
ろしいのは、人間と鳥、人  
間とブタのように、人間と  
動物の間を渡り歩くこと  
ができるウイルスも存在し  
ます。しかし、すべてのウ  
イルスが有害であるわけ  
ではありませんが、悪さ  
をするウイルスはよく知  
られています。

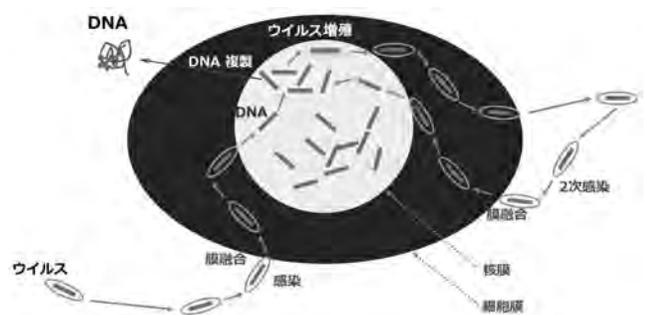


図5 ウイルスの複製様式

## ウイルス検出

### ＋ウイルスの検出方法

今まで、ウイルスをどのように検出してきたのでしょうか。ウイルスを直接検出する直接検出法があります。例えば、ウイルスを電子顕微鏡で直接見て検出する方法、ウイルスの中にある遺伝子を取り出して、その遺伝子の配列を調べる方法、ウイルスが感染して作るタンパク質を調べる方法です（図6）。こういう方法は時間がかかりますので、ウイルスが感染してから、免疫反応によって得られる抗体を検出する間接的検出法があります。しかし、抗体はウイルスに感染した数日後に産生されますから、初期対応はできません。直接法は信憑性が非常に高いけれど難易度が高い、間接法は非常に迅速であるけれど感度が低い、あるいは、人間が感染して時



図6 ウイルスの検出方法

間が経った後にしか測定できないという、それぞれ長所短所があります。

### ＋ウイルス検出の歴史

ウイルスは歴史的にどのように検出されてきたかを見ていきます（図7）。

一九五〇年代に電子顕微鏡が開発

されてから、直接肉眼で見ることが

できるようになりました。それから、血清学の発展

に伴い、抗原抗体反応を基にした検

出法が開発されました。抗体と抗原

が結合した際、蛍光を発するものは

蛍光イムノアッセイ、放射線で抗原

抗体反応を検出す



図7 ウイルス検出の歴史

る方法はラジオイムノアッセイ、化学発光で抗体の結合を見る場合は、化学発光イムノアッセイと呼ばれます。

一九八五年、PCR (polymerase chain reaction: ポリメラーゼ連鎖反応) が開発されました。これ以降、ウイルスの検出は、PCR法による核酸配列増幅法がスタンダードになっています。

二〇〇〇年に入ると、ナノテクノロジーが発達し、ナノテクノロジーを基盤としたナノバイオセンサという新しい検出法の開発が活発に進んでいます。

### ＋実用化されているウイルス検出方法

現在、既に実用化されているウイルス検出法は三つあります。PCR法、イムノクロマト法、ELISA法 (enzyme-linked immuno sorbent assay: 酵素結合免疫吸着測定法) です。

#### (1) PCR法

PCR法のポリメラーゼはDNA合成酵素です。DNAは元々二本鎖ですが、九〇度ぐらいに熱すると、一本鎖に分かれます。その分かれたときに、各DNAの鎖の端にプライマーと呼ばれる短いDNA配列を付けておきます。この状態でDNA合成酵素は、このプライマーを中心に、テンプレート遺伝子の相補的な遺伝子を合成してくれます

(図8)。

このような形で遺伝子を熱して、二本鎖を一本鎖にして、プライマーを加えて、DNA合成酵素を使って合成反応を行います。一サイクルを一回やると二本鎖のDNAが二本、二回繰り返すと二の二乗、四本の二本鎖DNAが得られます。三回繰り返すと二の三乗、八本の二本鎖DNAが得られます。このようにしてウイルス遺伝子のクローンを増やすことによって、かなりの遺伝子が得られます。ウイルスの遺伝子がたくさん検出されれば陽性、なければ陰性と判断します。この方法が一般

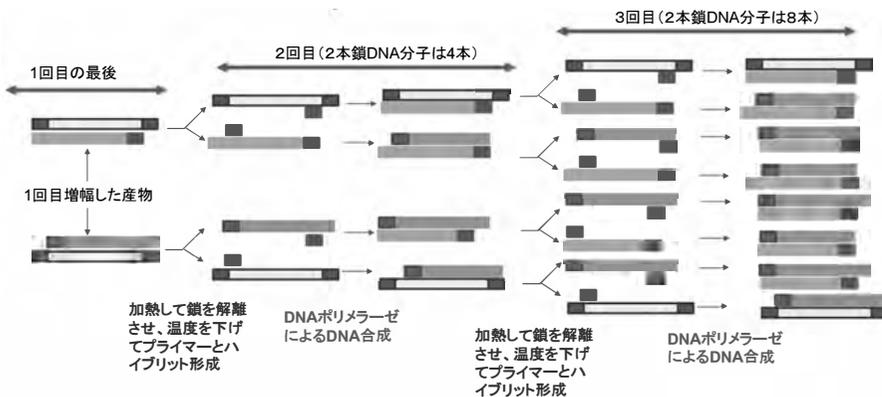


図8 PCR (Polymerase Chain Reaction) の原理

的になっていて、既に各社から、ウイルスのPCRの遺伝子増幅の試薬が出ています。サンプルを、感染しないように液体に入れて、この試薬を使って、PCR装置でPCR反応を行いますと、一ミリリットル当たりで遺伝子を何個持っているかがわかります。

## (2) イムノクロマト法

イムノクロマト法が最も一般的で、検査キットとしてすでに市販されています。図9にノロウイルス検出用検査キットを示します。

検査キットにはサンプルパッドと呼ばれる穴があり、そこにサンプルを一滴落とすと、液体が左から右に流れるようになっていきます。まず、サンプルはコンジュゲーションパッドと呼ばれるところに流れます。ここには、金ナノ粒子の表面にウイルスに対する抗体を結合させ（修飾し）たものがあります。サンプルのウイルスはこの金ナノ粒子に結合されて、テストラインに流れます。テストラインの上にも、ウイルスに結合する抗体があり、ここでウイルスは流れず止まります。ウイルスを含まない液体は、コントロールラインまで流れます。コントロールラインには金ナノ粒子の表面に結合している抗体を認識する抗体があり、ウイルスを結合していない金ナノ粒子はここに止まります。従って、ウイルスがたくさん存在すると、テストラインに

色が付きます。コントロールラインの色は、機器が正常であることを表します。

## 簡易型で、十五

〜二十分で結果が出ますが、感度が低いため偽陰性、偽陽性の可能性があります。また、感染初期には偽陰性が出る可能性もあります。非常に単純で使いやすいという利点があり、病院などで簡易診断法としてよく使われています。今

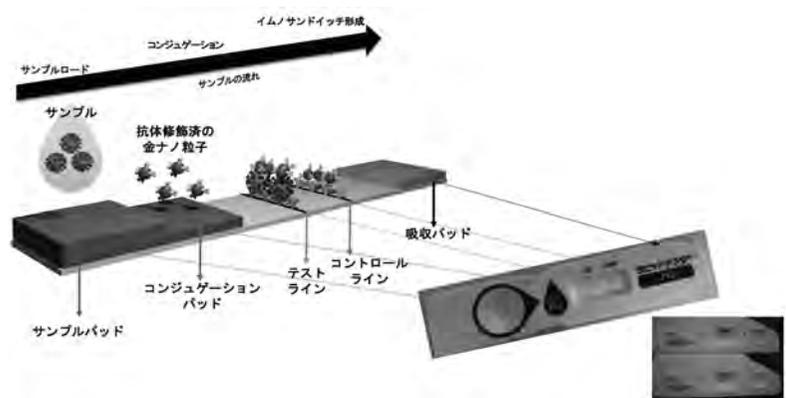


図9 イムノクロマト法の原理

## (3) ELISA法

三つ目はELISA法です（図10）。横に一二個、縦に八個、全部で九六個の穴があるプレートの底に、ウイルス

に特異的に結合する抗体をコーティングしておいて、その隙間にはさらにブロッキング剤という物質をコーティングしておきます。それとウイルスをかけると、ウイルスは穴の中の抗体に結合します。その後、ウイルスに結合する抗体を修飾したペルオキシダーゼという酵素をさらに加えると、ウイルスの上にこの酵素が結合し、ウイルスー抗体ー酵素のサンドイッチ構造を形成します。この状態で、普段は色がなけれど、酸化すると色が黄色くなります。そこで色が濃ければ、ウイルスがこのプレートにたくさんくっついたということになります。色が薄ければ、ウイルス量が少ないということですが、定量的にウイルスを測ることができません。作業が煩雑で時間がかかりますが、学問的にはよく使われている方法です。

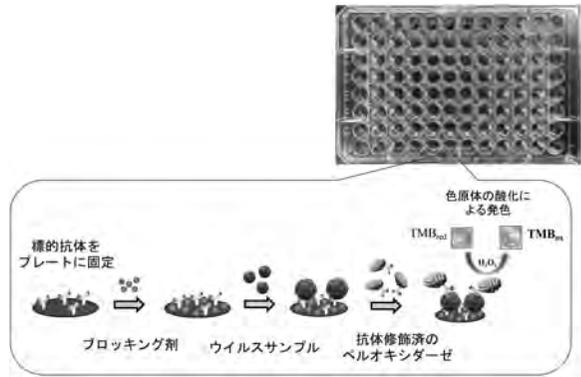


図10 ELISA法の原理

(4) 比較

今のところ、商品化されたものはこの三つしかありませんので、それらを比較してみます(表3)。原理から見ると、PCR法だけが遺伝子を増幅する方法で、イムノクロマト法とELISA法は抗原抗体反応を用いています。

操作はイムノクロマト法が一番簡単で、一段階で終わります。サンプルを落とすだけです。PCR法とELISA法は、マルチステップで時間がかかります。判定法としては、イムノクロマト法は目視で、線があるかどうかで分かります。PCR法とELISA法は、装置がないと判別できません。時間は、イムノクロマト法は十五〜三十分で分かりますが、PCR法とELISA法は大体半日かかります。

感度はPCR法、ELISA法、イムノクロマト法の順です。イムノクロマト法では、ウイルス

表3 検出方法の比較

	PCR法	イムノクロマト法	ELISA法
原理	遺伝子の増幅	抗原抗体反応	抗原抗体反応
操作	マルチステップ	1段階	マルチステップ
判定法	装置による判定	目視	装置による判定
測定値	定性・定量	定性	定量
検出に要する時間	6~9時間	15~30分	3~10時間
感度	+++	+	++
メリット	高感度	簡便性	広い濃度域

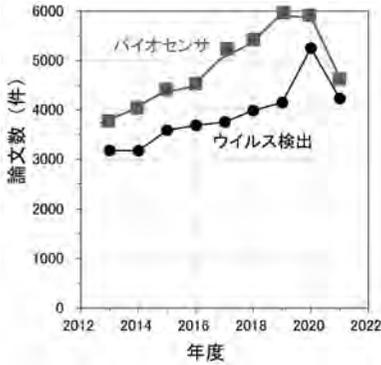


図11 ウイルス検出に関する論文数の推移 (出典) Web of Scienceの統計

表4 新型コロナウイルス関連論文の国別発表数

	論文数	累積感染者数
1 米国	2552	2010万 244
2 中国	2116	9万5963
3 イタリア	1313	210万7166
4 インド	653	1026万6674
5 ドイツ	569	176万 520
6 英国	566	249万6235
7 スペイン	471	192万8265
8 フランス	423	267万7666
9 ブラジル	334	767万5973
10 イラン	293	122万5142
14 日本	181	23万5811

(出典) 論文数は2020年の暫定値、累積感染者数は2020年末(文部科学省化学技術・学術政策研究所、化学研究のベンチマーキング2021、調査資料-312、2021年8月を基に加工)

表5 Top10%補正論文数の国別ランキング

	2007~2009年	2016~2018年	2017~2019年
1	米国	米国	中国
2	中国	中国	米国
3	英国	英国	英国
4	ドイツ	ドイツ	ドイツ
5	日本	イタリア	イタリア
6	フランス	オーストラリア	オーストラリア
7	カナダ	フランス	カナダ
8	イタリア	カナダ	フランス
9	オーストラリア	日本	インド
10	スペイン	インド	日本

(出典) 科学技術・学術政策研究所「科学技術指標」から産経新聞 (R3.8.10)

が少ない場合は、検出されない場合がありますが、しかし、場所を選ばずに何処でも簡単にウイルスを検出できます。PCR法のメリットは高感度であること、ELISA法のメリットは広い濃度域でウイルスを検出できます。ですから、その場、その場で合ったものを使えばいいのですが、今後さらなる簡便性や高感度の検査法が望まれます。

### 先端的ウイルス検出手法

#### ↑ウイルス検出に関する研究

ウイルス検出は非常にホットな分野で、多数の研究論文が発表されています。ウイルス検出というのはバイオセンサの分類に属し、論文件数が二〇一三年からずっと増えて、現在は六〇〇〇件に上っています(図11)。特に二〇二〇

年には、ウイルス

検出の分野だけで五〇〇〇件を超えています。新型コロナウイルスの影響もあると思うのですが、今、バイオセンサの論文の八割以上は、ウイルス検出に焦点を当てています。ちなみに、新型コロナウイルスに二年間苦労しています。日本では二〇二〇年一八〇編の新型コロナウイルス関連論文が発表されました。これは世界で一四番目です(表4)。アメリカ、中国が圧倒的に多いのです。

日本は、新型コロナウイルス感染が少ないからと言い訳することもできますが、本当はかなり研究力が落ちています。世界で発表された論文のうち、社会に影響力のある論文を「Top 10%補正論文」といいますが、このTop 10%補正論文数で、日本は順位を下げ続けています(表5)。アメリカに次いで二位だったところから、二〇〇七〜二〇〇九年は五位に下がりました。このとき中国が二位に浮上しました。十年後の二〇一六〜二〇一八年になる

と、九位に落ちました。イタリア、オーストラリア、フランス、カナダにも追い越されてしまいました。二〇一七、二〇一九年は、日本は一〇位になり、インドが日本を追い越しています。これからどこまで落ちるか分かりませんが、大学にいる者として、本当に申し訳ないと思っています。日本は今、早急に研究力向上に向けて対策を講ずる必要があります。

#### ナウイルス検出とナノテクノロジー

ウイルスを高感度で迅速に検出するためにはナノテクノロジーの活用が欠かせません。ナノ材料は今、非常に注目されています。

ナノ粒子は、一〇億分の一メートルサイズの粒子です。こういうものになると、普通の物性と違った性質が出てきます。例えば、磁性（磁石で引っ張られる性質）、蛍光が見えてくる、触媒活性の上昇などです。また、有名なカーボンナノチューブは、ナノサイズでありながら、強度が非常に強く、さらに電気を非常によく通す高導電性ナノ材料です。このようなナノ材料を組み合わせて、ハイブリッド材料を作り、機能性を向上した上でウイルスを高感度で検出するという研究が今、非常に目立っています。

では、ウイルスを検出するとすると、例えば検体の中に

は、細胞もあれば、抗体もあれば、ウイルスもあれば、タンパク質もあれば、遺伝子もあります。さまざまな夾雑物の中で、ウイルスのみ、特異的に検知する必要があります。これを「分子認識」と呼びます。ウイルスの中でも、例えばインフルエンザウイルスのみ、ノロウイルスのみなど、特定のウイルスのみ認識する分子認識素子が必要です。

また、認識したとしても、認識したということを、ある信号で伝えなければなりません。どんな信号かということ、例えば光を発する、蛍光を発する、電流の流れが悪くなる・良くなるという信号が用いられます。これが「シグナル変換」です。つまり、ウイルスを検出するために重要なのは、敏感な分子認識素子と、分子認識素子から発せられるシグナルを高感度で拾うということ、二つの要素が必要になります。

#### 高感度のウイルス検出法

ウイルスを検出する目的でよく使われるシグナルは、蛍光と電気的なシグナルです。ウイルスを測るウイルス材料としては、本当のウイルスは使用できませんので、研究レベルではウイルス様粒子 (virus-like particle: VLP) を使っています (図12)。

本物のウイルスは、スパイクタンパク質があって、その中にエンベロープ (膜) があって、エンベロープの中には

DNAあるいはRNAが入っています。VLPとは、本物のウイルスから遺伝子だけ取り出した中空のウイルス粒子です。本物のウイルスを触ると感染しますが、VLPは感染しません。なぜなら遺伝子が入っていないからです。

VLPのスパイクタンパク質は抗原として働き、人体の中に入ると免疫反応を誘導します。したがって、VLPはワクチン開発にも利用されています。このような安全性のために、実験室レベルではVLPを主に使っています。

例えばノロウイルスは、P1、P2、S、Nというタンパクが集まり、自分たちで組み立てられウイルスの粒子を作ります。ウイルスは集合組織をつくるのが上手です。大きさは約三〇ナノメートルです。ノロウイルスは、周りにエンベロープがありません。コロナウイルスやインフルエンザウイルスの場合は、アルコール消毒するとウイルスが破壊されるということで安心できるのですが、ノロウイルスの場合は、周りにエンベロープがないので、アルコールでは消毒できません。ですから、ノロウイルスのようなエ

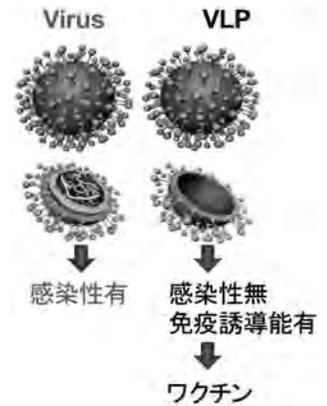


図12 ウイルスとウイルス様粒子

ンベロープがないウイルスの場合は、塩素系の薬剤を使わなければ消毒はできません。ウイルスに膜があるかないかによって、消毒のやり方が違ってきます。

(1) 蛍光シグナル

① 機能性ナノ粒子

ウイルスの検出には、ナノ粒子が非常に有効です。機能性ナノ粒子である量子ドットは、分かりやすく言えば、蛍光性半導体です。英語では quantum dot と呼ばれます。これは、サイズが一・三五ナノメートルと小さいものであれば、色が青い蛍光を呈します。しかし、サイズが二・四ナノメートルになると、赤くなります。この粒子は、大きさによって蛍光の色が変わるといって、非常に面白い性質を持っています。

金ナノ粒子という機能性ナノ粒子もあります。金は肉眼で見ると黄色く見えますが、これを一〇億分の一メートルのサイズに細かくすると、赤ワインのような色になります。しかし、金の粒子を徐々に大きくすると、色がどんどん青くなります。このように、物質の大きさをナノサイズにすると性質がまったく違ってきます。こういったものをウイルス検出に利用しています。

例えば、量子ドットの周りに抗体を修飾して、体のある

臓器をターゲットにする、イメージングができません。あるいは、量子ドットの周りに、あるタンパク質を修飾すると、陽電子放出断層撮影（PET…

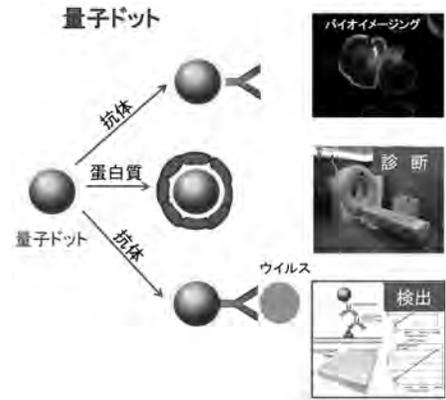


図13 機能性ナノ粒子の創出と応用

positron emission tomography)で病気の診断ができます。量子ドットにウイルスを捕まえる抗体を修飾すると、ウイルスを検出することができます（図13）。

### ②表面プラズモン共鳴

さらに、金ナノ粒子と、抗体を修飾した量子ドットを近づけると、蛍光が増強する現象も見られます。これは、「表面プラズモン共鳴原理」と呼ばれる物理学的な原理です。エネルギーを与えると、自分が持っている以上にエネルギーを発散する現象です。

これを図14で説明します。金ナノ粒子の周りに、プラズモン領域と呼ばれる仮想領域があります。量子ドットがその領域の中に入って、三ナノメートルぐらいの距離まで近づくと、量子ドットが本来持っている蛍光より少ない蛍光

強度になり、蛍光が消光されます。しかし、この領域の中で距離が六く

一・五ナノメートルぐらいになると、量子ドットは本来持っている蛍光より、かなり強い蛍光を発します。つまり、蛍光の増強現象が見られます。さらに離れて、プラズモン領域外の遠いところに量子ドットが存在すると、本来持っている蛍光しか発しません。このようなナノ粒子間の相互作用を、表面プラズモン共鳴、あるいは局在表面プラズモン共鳴と呼びます。

### ③インフルエンザウイルスの検出

インフルエンザウイルスは、一〇〇ナノメートルぐらいの大きさです。三・八ナノメートルの非常に小さい量子ドットの周りに、インフルエンザウイルスを認識する抗体を修飾します。さらに金ナノ粒子にも抗体を修飾します。

三者を混ぜると、量子ドットと金ナノ粒子は、インフルエンザウイルス表面のタンパク質に結合します。ここで、

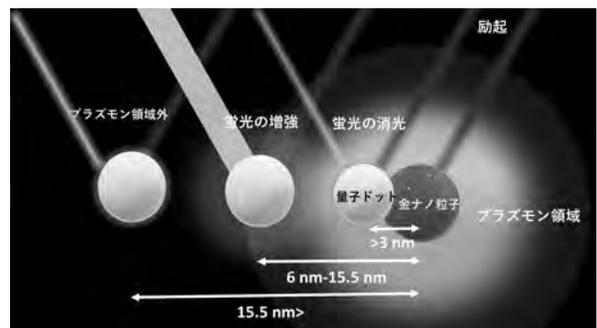


図14 表面プラズモン共鳴

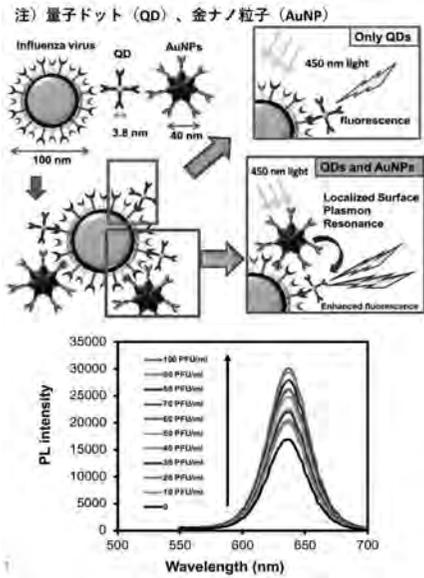


図15 インフルエンザウイルスの検出  
 (出典) K. Takemura et al., Biosens. Bioelectron., 2017, 89, 998-1005

金ナノ粒子が存在しない場合は、量子ドットは本来持っている蛍光しか発しません。しかし、金ナノ粒子が隣にたくさん存在すると、プラズモン共鳴現象が起こり、自身が持っている蛍光以上に、蛍光が増強されます。ウイルス濃度が一〇、二〇、三〇、四〇、五〇PFU（感染可能なウイルス粒子の単位）へと上がると、それに比例して蛍光強度が増強されます。表面プラズモン共鳴現象を利用してウイルスを検出できる例です（図15）。

まったく同じ原理をカーボンナノチューブにも応用できます。カーボンナノチューブの表面に金ナノ粒子を修飾して、金ナノ粒子と量子ドットにもまた同じ抗体を修飾すると、ウイルスが挟み撃ちされるので、カーボンナノチューブの周りにたくさんウイルスがくっつきます。そのときに、

金ナノ粒子と量子ドットの距離が近づくので、蛍光が増強されます。ウイルスの濃度に比例して蛍光強度が増強され、ウイルスの検出が可能となります。

#### ④分子ビーコンによる遺伝子の検出

遺伝子を検出する場合にも、このような原理を利用します。分子ビーコンと呼ばれるものです。

分子ビーコンは、ループ、ステム、量子ドット、消光剤から成り、ステム領域には四個の塩基、片方には蛍光を発する量子ドット、片方には蛍光を消す消光剤が結合されています（図16）。ループはDNA一本鎖だけのものです。そのままの状態であれば、量子ドットと消光剤は隣同士になるので、蛍光は消光剤によってすべて吸収されます。

しかし、そこにループの遺伝子の相補的な遺伝子が来ると、それがループと結合します。塩基はA（アデニン）、T（チミン）、G（グアニン）、C（シトシン）で、AはTと、TはAと、GはCと、CはGと結合します。結合すると、ループは二本鎖になり結合力が強くなるため、ステムの塩基が切れます。切れると、量子ドットと消光剤の距離が離れるので、消光剤は蛍光を吸収できなくなり、蛍

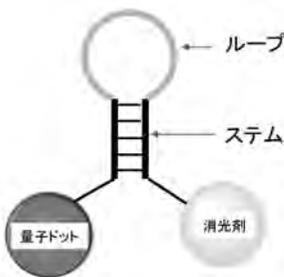


図16 分子ビーコン

光が回復します。ですから、ウイルスの遺伝子が多ければ多いほど、強い蛍光回復が見られます。

このやり方で、例えばジカウイルスの遺伝子を検出すると、ジカウイルスの遺伝子がない場合は蛍光強度が低いですが、コピー数が増えるにつれて、蛍光強度も上がります。コピー数と蛍光強度は比例関係にあり、蛍光強度を測れば、遺伝子のコピー数が分かるようになります。デングウイルスも同じようなやり方で遺伝子を検出すると、コピー数が高いほど蛍光強度が上昇します。

⑤表面増強ラマン散乱光

さらに新しいのは、表面増強ラマン散乱（SERS）と呼ばれる方法です。これは「ラマン散乱」という原理を利用しています。これを使うと、非常に高感度でウイルスを検出することができます（図17）。

磁気ナノ粒子の周りに、ウイルスに対する抗体と、マレイミド（maleimide）という化学物質を修飾します。そして、ナノタグを包埋したナノゲルと呼ばれるものを用意します。ナノタグというのは、ラマン散乱光を発するためのタグです。このナノゲルの周りにも、同じようなウイルスに対する抗体を修飾しておきます。

ウイルスと磁気ナノ粒子とナノゲルの三者を混ぜると、ウイルスは両粒子の間に挟まれて結合するので、磁石を用

いると、ウイルスが夾雑物から分離されます。ここで

pHを四・五に下げると、ナノゲルの中にあつたナノタグが漏れてきて、磁気ナノ粒子のマレイミドに結合します。そうすると、ナノタグが磁気ナノ粒子の表面にたくさん集まり、そこで非常に強いラマン散乱光が発生します。これを測定することによって、ウイルスがどれくらい存在するか、ということが確認できます。

⑥pH応答性ナノゲル

ナノゲルを作つて電子顕微鏡で見ると、二〇〇ナノメートルぐらいの大きさで、pHを中性にして、ナノタグをカプセル化すると、中にたくさんナノタグが入っている状態で、中が真っ黒に見えます（図18）。pHを下げる（酸性にする）と、中にあるナノタグを吐き出すので、周りに

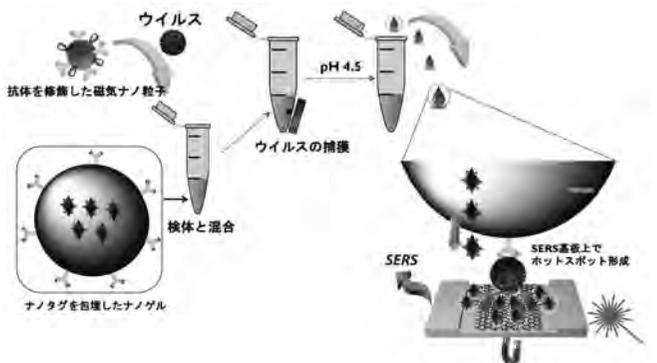


図17 表面増強ラマン散乱光でウイルスを検出する  
 (出典) Achadu et al., ACS Appl. Mater. Interfaces, 13, 27836 (2021)

たくさん黒い点が見えます。このような形でナノタグをたくさん吸い込んだり、吐き出したりして感度を上げることができま

す。これを使ってE型肝炎ウイルス様粒子を検出した実験では、ラマン散

乱スペクトル、一〇九八のラマンシフトのあたりが一番ピークが高く、このピークを使って検量線を作りました。

リン酸緩衝液にE型肝炎ウイルス様粒子を入れた状態では、一ミリリットル当たり一〇フェムトグラムオーダーで、非常に高い感度で測ることができます。血清中にウイルス様粒子を混合した状態では、血清中にはたくさん不純物があるので、検量線の勾配が若干下がるのですが、きれいに検出することができました。このような方法でも、かなり感度高く測ることができます。

なぜこんなことが起こるかを調べたところ、電磁場の形

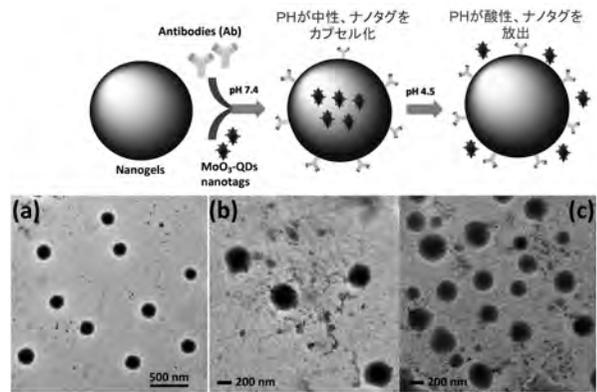


図18 pH応答性ナノゲル

成が係わっています。つまり、ナノゲルの中からナノタグが出てきて、これがすぐ磁気ナノ粒子の周りに結合します。そうすると、お互いにかなり密接になります。例えば、ナノタグが一個の場合よりも、二つのナノタグが一ナノメートル間隔に近づいた場合の方が、電磁場の発生が強くなります。これが一〇ナノメートルぐらい離れると、元通りに戻ります。このように、強いラマン散乱光が発生するのは、ナノタグが非常に密接に近づいて、電磁場が強くなるからであると考えられます。この研究成果を「ACS Applied Materials & Interfaces」に論文を発表したところ、表紙に研究内容を載せていただけました(図19)。



図19 「ACS Applied Materials & Interfaces」表紙画像

## (2)電氣的シグナル

次は、電氣的なシグナルで測る方法です。ペンのような部分を肉の塊に差し込むとpHを測れる簡易型pHメーターや、果汁を一滴落とすとpHが測れるpHセンサーの

ように、ウイルスも測れないか。これが私の夢で、研究を進めています。

①電極の開発

ウイルスをpHメーターのように測るためには、検体の中で、特定のウイルスだけを感じ取る分子認識素子を作らなければなりません。この分子認識素子がウイルスを認識した場合に、認識したシグナルを電流、電圧、抵抗などに変換する必要があります。

そこで表面が金でできた金電極を使い、金電極の表面に、電気をよく通す、ポリアニリンナノワイヤ (PANI) というナノ物質をコーティングします。さらに、金ナノ粒子 (Au) を包埋した金-ポリアニリン (Au-PANI) と、グラフェン材料を合成します(図20)。もう一つ、グラフェン量子ドット (GQDs) に窒素と硫黄をくっつけておいて (NS-GQDs)、そこにウイルスに特異的な抗体を修飾しておきます (Ab-NS-GQDs)。NS-GQDsは、金ナノ粒子と同じで、五〜六ナノメートルと非常に小さいものです。Ab-NS-GQDsとAu-PANIに合体させて、電極の上に堆積させると、Ab-GQD-Au-PANIになります。これにより、この電極は電気を非常に流しやすくなるので、これを分子認識素子とします。この状態であれば、抵抗が非常に低く、電気が非常に流れやすくなります。

そこにウイルス

をかけると、ウイルスは抗体に結合して、電極表面にすべてトラップされます。すると、電

極の中に流れる電流の流れが弱くなります。なぜなら、ウイルスの存在で電気の流れが邪魔され、抵抗が上昇するからです。これが、ウイルスが結合したかどうか、すぐに分かるシグナルになります。このようなシステムを使ってウイルスを検出することができます。

②ウイルス検出システム

これを証明するために、図21のような装置を使っています。作用電極、参照電極、対極の三電極系があり、先ほど

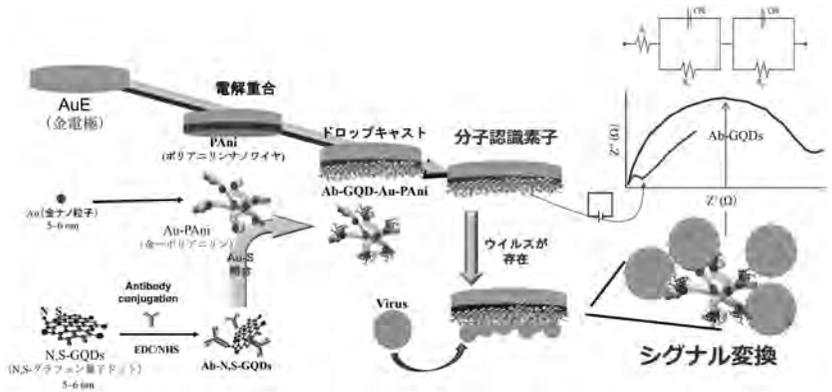


図20 高導電性ナノ材料を堆積した電極 (出典) Ankan et al., Nat Cimmun, 10. 3737 (2019)

つくった電極を作用電極の表面に結合させ、三本の電極を測定セルに入れます。この測定セルにはウイルス検体も入れます。そして、三本の電極をポテンシオスタットにつなぐと測ることができます。

例えば、E型肝炎ウイルス様粒子を、一ミリリットル当たり一〇フェムトグラムから一ナノグラムの検体でウイルスを測定すると、抵抗値が、ウイルスが何もない場合は七三三六オーム(Ω)から約二万二九〇〇オーム、三万八九〇〇オームに、どん

どん抵抗値が増えます(図22)。抵抗値の割合を測定することで、ウイルスの濃度を測ることができます。

	$R_{int}(\Omega)$	CPE ( $10^3 F$ )	n	$R_{int}(\Omega)$	C(F)	$R_{int}(\Omega)$	
Anti-PAnti/NS5-GODs	0	641.7	2.40	0.423	7336	2.05E-08	991
HEV-LP	10 fg mL <sup>-1</sup>	660.8	1.35	0.427	22963	2.55×10 <sup>-6</sup>	18298
	100 fg mL <sup>-1</sup>	753.3	5.62	0.594	38956	1.02×10 <sup>-1</sup>	37546
	1 pg mL <sup>-1</sup>	717.5	5.81	0.696	53406	1.59×10 <sup>-3</sup>	53772
	10 pg mL <sup>-1</sup>	697.7	7.41	0.7581	65052	4.13×10 <sup>-4</sup>	82538
	100 pg mL <sup>-1</sup>	681.1	8.08	0.7554	78959	4.56×10 <sup>-6</sup>	194417
	1 ng mL <sup>-1</sup>	639.6	7.60	0.757	85915	7.38 10 <sup>-4</sup>	108621

図22 E型肝炎ウイルス様粒子の濃度に対するインピーダンスの変化

(出典) Ankan et al., Nat. Commun., 10: 3737 (2019)



図21 ウイルス検出用システム

どん抵抗値が増えます(図22)。抵抗値の割合を測定することで、ウイルスの濃度を測ることができます。

### ③E型肝炎ウイルス(HEV)の検出

このような方法で、E型肝炎ウイルスに感染させたサルからウイルスを検出することを試みました。E型肝炎ウイルスは腸管で発生するので、一カ月半の間、糞を集めます。集めた半分は、従来のPCR法でウイルスを測り、残りの半分は電気的な方法で測りました(図23)。

従来のPCR法では、四〜五日で一気にウイルス濃度が増えました。約二週間はウイルスが高濃度になり、その後はウイルス濃度が下がっていま

す。これは、サルの体内で免疫が誘導されることで抗体ができ、抗体によってウイルスが中和されて、どんウイルスが消えていったため

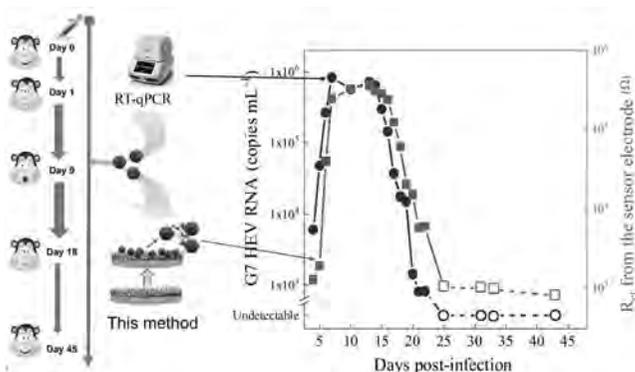


図23 HEV感染動物からのHEVの検出

(出典) Ankan et al., Nat. Commun., 10: 3737 (2019)

す。ということでは、二十五日以降はPCR法でもウイルスが検出できませんでした。

同じサンプルを使って電気的方法で測ると、抵抗値が一〇〇〇オームから一気に上がり、五〇万オームまで上がって、三週間後は落ちていきました。二十五日以降はほとんど最初と同じような抵抗値になるということが分かりました。

PCR法は検出に半日かかりますが、この方法なら、十五分ぐらい、しかも検体を電極に乗せるだけで測れるので、非常に便利な方法です。これを使えばウイルスのモニタリングができ、さらにウイルスの定量も可能です。

### 今後の展望

オンサイト（現場）でウイルスを計測するためには、今使っている三本の電極を、三×五センチメートルぐらいの小さな電極に変えなければなりません。さらに、このような小さな電極で測ることができる装置が必要です。出来ればスマートフォンぐらいの大きさにして、チップを差し込んで、サンプルを乗せるという形で、ウイルスの濃度が測れるようにしたいと考えています（図24）。この一台をウイルスが発生した現場にそのまま持ち込み、その場でウイ

ルスが測れるように成ると思います。

電子工学が進んでいる日本ではこのような装置を簡単に作る事ができると思います。小さな電極をスマートフォンサイズの検出器に挿入すれば、検出器の電

波がスマートフォンにつながり、その情報が国の危機管理室に伝わるようになる、そのような時代が来るのではないかと考えています。また、自宅でも血糖値を測るようにウイルスの検出ができるようになれば、エボラウイルスの感染拡大のような事態は起こらないと思います。感染者を特定して隔離さえすれば広がりませんので、感染症の克服に大いに貢献できると信じます。

### まとめ

感染症というのは、最初の感染源の特定が最も大事です。今、PCR法では半日以上かかりますが、これが現場

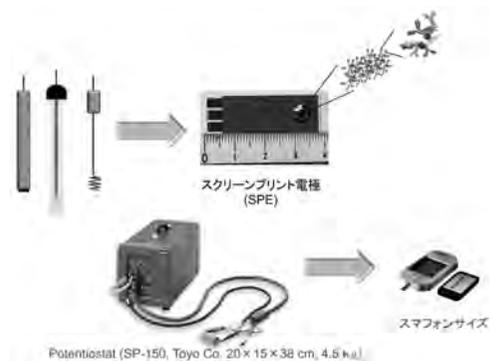


図24 オンサイトでウイルスを計測するために

で二十〜三十分で分かれれば、感染症の治療、あるいは感染症の対策に大いに貢献できると思います。

ウイルス検出については、毎年四〇〇〇件以上の論文が発表されていますが、今のところ実用化されているものはほとんどありません。最先端の研究はすべて、研究例にすぎず、実用化されているものは、PCR法とイムノクロマト法とELISA法だけです。なぜかという点、感度が高い反面、ばらつきが大きい弱点があります。いかにばらつきを減らすかが最大の課題です。

ウイルスの検出装置は、小型化、スマートフォンぐらいの大きさのものにできるかどうかが課題です。しかし、私は近い将来PHメーターのように、ウイルスを測るウイルスメーターが必ず出てくると確信しています。

## 【講師紹介】

### 村越 真（静岡大学教育学部・防災総合センター教授）

1960年静岡生まれ。静岡大学教育学部・防災総合センター副センター長。日本オリエンテーリング協会業務執行理事、国立登山研修所専門調査委員。専門分野は認知心理学。空間認知・リスク認知・安全教育が研究テーマ。現在もオリエンテーリング等で自らリスクと付き合うとともに、読図やリスクマネジメントの講習・講演などを通して研究成果を実践に還元している。主著書に「遭難からあなたを守る12の思考」（山と溪谷社、2022年）等。

### 鳴海哲夫（静岡大学工学部准教授）

1979年シンガポール生まれ。早稲田大学理工学部応用化学科を卒業後、同大学大学院理工学研究科を経て、京都大学大学院薬学研究科にて博士（薬学）を取得。米国ペンシルバニア大学、東京医科歯科大学を経て、2013年より現職。専門は有機合成化学・ペプチド化学。主にアミノ酸やペプチドなどを医薬品モダリティとする創薬研究に従事する。また、生体分子を有機化学的に高度化させた高次機能性分子を用いた分子性触媒や化学プローブの開発研究を進めている。

### 塩田真吾（静岡大学教育学部准教授）

1981年生まれ。早稲田大学大学院博士課程修了、博士（学術）。千葉大学特任研究員、静岡大学教育学部助教、講師を経て、2015年より静岡大学教育学部准教授。第4期静岡大学若手重点研究者。文部科学省ICT活用教育アドバイザー。主な著書に、『行動改善を目指した情報モラル教育－ネット依存傾向の予防・改善－』静岡学術出版など。

### 鈴木哲朗（浜松医科大学医学部教授）

1959年名古屋市生まれ。京都大学農学部畜産学科卒業、農学博士。万有製薬（現MSD）研究所勤務の後、1992年、国立予防衛生研究所（現国立感染症研究所）に入所。研究員、主任研究官、室長として主に肝炎ウイルスの分子生物学研究に従事。1995～1997年、カリフォルニア工科大学にてリサーチフェロー。2010年4月より現職。2017年11月より静岡大学客員教授。

### 朴 龍洙（静岡大学グリーン科学技術研究所所長）

1990年東京大学大学院博士課程修了、工学博士。1990年名古屋大学助手、1993年静岡大学助手、1995年同大助教授、1999年同大教授。2013年グリーン科学技術研究所所長。創造科学技術大学院、総合科学技術研究科、農学部を兼務する。カイコをバイオファクトリーとして様々なタンパク質発現研究を進め、ウイルス様粒子をワクチンのプラットフォームとして開発している。また、ナノ材料の電気学的、光学的特性を用いてウイルス検出系を開発している。

# 静岡大学公開講座ブックレット

地域創造教育センターでは、二〇〇八年より、『公開講座ブックレット』の刊行を開始しました。当センター主催の公開講座の記録を講演録という形でまとめて発行するというものです。公開講座を実施してそのまま終わりにするものではなく、記録として残し、公開していくことにより、知の蓄積と共有を図る

うと考えています。

これらのブックレットは、静岡大学付属図書館や静岡県内の公共図書館で閲覧することができます。また、静岡大学学術リポジトリ (<https://shizuoka.repo.nii.ac.jp/>) でも公開しています。

## 1 身近な自然環境・里山との付き合い方

富田 昇「里山の性格とその変貌——史資料に残る山林利用の変遷」  
小嶋陸雄「海岸林と人の共生関係論」  
小南陽亮「里山の自然環境——生態学からみた里山の森林」

2009年3月刊  
74ページ

## 2 浜松の戦争遺跡を探る

荒川章二「浜松の陸軍基地」  
村瀬隆彦「浜松空襲について」  
竹内康人「浜松の戦争遺跡」

2009年11月刊  
76ページ

## 3 高齢化社会における地域とまちづくり

中條暁仁「高齢者は弱者なのか？」  
矢野敬一「祭りを継続させる・町屋のまちづくりを立ち上げる」  
南山浩二「家族・地域社会のゆくえと高齢者介護」

2010年3月刊  
72ページ

## 4 いま、再び〈いのち〉を考える

松田 純「検証 生命操作の現在」  
田島靖則「検証 いのちの「はかなさ」をめぐる」  
石川憲彦「検証 現代人に突きつけられた生と死の課題」

2012年1月刊  
62ページ

## 5 〈いのち〉と環境を考える

宗林留美「海のしくみと駿河湾深層水」  
松田 純「遺伝子技術のゆくえと〈いのち〉の現在」  
芳賀直哉「いのちの森を守る闘い——南方熊楠の思想」

2012年3月刊  
74ページ

## 6 沼津の古代遺跡を考える

滝沢 誠「古墳出現期の沼津」  
篠原和大「農耕文化形成期の沼津」  
菊池吉修「古墳時代後期の東駿河の様相——埋葬施設からみる特徴」

2012年3月刊  
68ページ

## 7 食と健康を科学する

竹下温子「食の安全・安心を考える」  
木寄暁子「食とバイオサイエンス」  
日野真吾「食物繊維の効能——免疫とアレルギー」

2013年3月刊  
92ページ

# 静岡大学公開講座ブックレット

## 8 災害を知り、防災を考える

鶴川元雄 「火山噴火予知の方法——富士山の現状を考える」  
原田賢治 「静岡の津波防災を考える」  
北村晃寿 「大地が伝える津波と地震の記憶——静岡・伊豆の堆積物調査から」

2014年3月刊  
96ページ

## 別編 世界文化遺産富士山を考える

小山真人 「富士山 大自然への道案内」  
増澤武弘 「文化遺産を育て守る富士山の自然」  
和田秀樹 「富士山の美を作る生い立ち——生の姿と富士の恵」  
小三田誠二 「眺める富士山——景観と表現」  
湯之上隆 「霊峰富士の宗教文化史」

2014年11月刊  
114ページ

## 9 〈生きる〉を考える

松田 純 「変貌する身体と生命」  
丑丸敬史 「老いを科学する」  
久木田直江 「医療と身体を考える」  
竹之内裕文 「〈死〉とともに生きる」  
白井千晶 「生むこと、生まれること」

2016年3月刊  
128ページ

## 10 ふじのくにのホモ・サピエンス

山岡拓也 「ホモ・サピエンスの技術と能力とは何か——世界各地で明らかにされている現代人的行動」  
池谷信之 「人類史最古の遠距離航海と土木工事——神津島産黒曜石と陥穴猟」  
山岡拓也 「三万五千年前のハイテク狩猟具——台形様石器の実験考古学」

2018年3月刊  
70ページ

## 11 静岡の自然と文化

——東部・伊豆半島を中心に——

小山真人 「世界遺産・富士山と伊豆半島ジオパーク」  
白井嘉尚 「地域力×アートの力——静岡での試み」

2021年3月刊  
50ページ

**村越 真**（静岡大学教育学部・防災総合センター教授）  
「私たちの周りにおけるリスクとそのマネジメント」

**鳴海哲夫**（静岡大学工学部准教授）  
「化学のチカラで感染症に立ち向かう」

**塩田真吾**（静岡大学教育学部准教授）  
「ネットのリスクをどう教えるか」

**鈴木哲朗**（浜松医科大学医学部教授）  
「感染症のリスクに向き合う」

**朴 龍洙**（静岡大学グリーン科学技術研究所所長）  
「感染症ウイルスを測る」

静岡大学公開講座ブックレット12  
静岡大学・読売新聞連続市民講座

## リスクに向き合う

～危機に備えたまちづくり・くらしづくり～

発行 日—2022年3月24日

編集・発行—静岡大学地域創造教育センター  
〒422-8529 静岡市駿河区大谷836

☎054-238-4817

印 刷—大日三協株式会社

