

野中郁次郎の

# 成功の本質

ハイ・パフォーマンスを生む現場を科学する

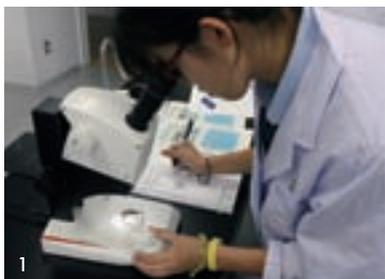
## 野中郁次郎氏

Nonaka Ikujiro\_一橋大学名誉教授。早稲田大学政治経済学部卒業。カリフォルニア大学経営大学院でPh.D.取得。一橋大学大学院国際企業戦略研究科教授などを経て現職。著書『失敗の本質』(共著)、『知識創造の経営』、『知識創造企業』(共著)、『戦略の本質』(共著)、『流れを経営する』(共著)。



VOL.75

## 横浜サイエンスフロンティア高等学校



1. 海の生き物を調べる実験授業。2. YSFHの特徴的なカリキュラムの1つ、英語によるポスター発表。2013年11月、シンガポール、マレーシア、国内SSH(スーパーサイエンスハイスクール)指定校の生徒を集め、YSFHで行われた横浜サイエンスフロンティア国際科学フォーラム「ysf FIRST 2013」の一角。



神奈川県横浜市。JR鶴見駅から徒歩17分の鶴見川沿いに、大学の研究者もうらやむ最新の実験機器を備えたその科学技術系高校は設立された。向かい合う校舎の両端の2階部分には、2本の渡り廊下がかかっている。校門に近いほうが「知識の架け橋」、川に面した奥のほうが「知恵の架け橋」だ。

2009年、横浜開港150周年を記念して開校した横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校(YSFH)。設立に大きな役割を果たし、今も常任スーパーアドバイザーを務める日本の生物物理学界の権威、和田昭允<sup>あきよし</sup>・東京大学名誉教授が橋の名前の意味を話す。

「知識は情報ですが、知恵は能力です。知識と知識を結びつけて初めて知恵になる。今の学校は知識を教えすぎる。頭脳という倉庫に知識を詰め込み、試験で在

庫リストを調べる。一方、知恵は自分のなかから生まれる。生徒たちは知識をいっぱい持って入ってきて、ここでも多くの知識を得るでしょうが、最後は知恵を持って巣立ってほしい。2つの橋はその象徴です」

YSFHの生徒たちは3年の間に、普通の高校では経験できない高度な学びを体験し、異質な雰囲気の中で、他校では当たり前でないことを当たり前に行う。アメリカのノーベル賞受賞者をはじめ、通常はなかなか会えない本物の研究者たちと出会いながら、「知識の架け橋」から「知恵の架け橋」へと渡っていく。

その成果は目を見張る。生徒は自分でテーマを選び、高校水準を超えた課題研究を行い、英語でプレゼンテーションする。昨年のテーマ例をいくつかあげよう。

「根粒菌がマメ科植物との共生によって得るメリッ

## 「真のサイエンス」を教え 教育の本質と受験を両立

ト]「CVD法による単層カーボンナノチューブの生成と物性の評価」「遺伝的アルゴリズムによる学習できる人工知能」「宇宙年齢の推定」等々。各種の科学系コンテストでも、国際地学オリンピックで金メダルを取るなど、多くの実績をあげている。

大学の進学実績も優秀だ。3期生が卒業した今年春の入試合格者の内訳は、東京大学4名、東京工業大学4名など国公立が98名に上り、私立も東京理科大学50名など理系有名校が名を連ねる（浪人を含む。1学年約240名）。課題探究と進学を見事に両立させている。

「YSFHを成功に向かう道に乗せられた」と和田は言う。文部科学省内部からも、「日本における先端的モデル校になってほしい」との声が寄せられるという。学生の理系離れが進み、科学技術立国の危機が叫ばれるなか、今、日本で最も注目を集める高校の1つが、このYSFHだ。「先端科学技術の知識を活用し、世界で幅広く活躍できる人材」の育成を目的とした、その教育の本質を探ってみたい。

### 横浜市がトップ校をつくる

前身は1936年創立の鶴見工業高校。2000年、再整備計画が持ち上がった。2年後、衆議院議員から転じた中田宏市長が就任すると、「科学技術のトップ級人材を横浜から生み出す」方針が打ち出され、アドバイザー委員会が発足。開校予定地の隣接地に設立されていた理化学研究所ゲノム科学総合研究センター（当時）所長の和田も参加を求められた。和田は小島謙一・横浜市立大学理学部長（現・名誉教授）とともに中心的な役割を担い、「既存の科学技術系高校とはまったく違った発想の高校」を目指す基本構想を打ち立てた。

注目すべきは、設立準備が行政特有の“意見調整”ではなく、基本構想に基づき、ある種の戦略的な発想で進められたことだ。典型が校名の設定だ。当初、「サイ

エンス」を入れることについて、市の教育界から反発の声があがった。県内公立高校の進学実績は県立の湘南（藤沢市）、翠嵐（横浜市）、柏陽（同）がトップ3で、横浜市立は「2～3番手」と後塵を拝していた。そこで、新設校には「横浜市がもう1つトップ校をつくる」使命も課されていた。和田が話す。

「高校受験では、学校は父母が選ぶ傾向が強い。サイエンスの名称を入れると、範囲が狭くなるため敬遠されて、いい生徒、いわゆる難関大学に入れる生徒が集まらないのではないかと危惧されたのです」

当時、国語教師から教育委員会の指導主事となって設立準備に携わり、2012年から2代目校長を務める栗原峰夫も、周囲の反発にあった。

「教育委員会には、伝統校が漢字名であるため、片仮名への抵抗もありました。『フロンティア』も“辺境”の意味があると否定的に見られた。ただ、漢字の科学技術高校ではイメージが固定され、基本構想が考えるサイエンスの世界とはかけ離れることは確かでした」

和田は、「サイエンスを入れないなら、アドバイザーを辞する」と表明。推進派の努力もあり、現在の校名に決定する。YSFHには、この和田のほか、ノーベル化学賞受賞者で米国フロリダ州立大学のハロルド・クロトー教授など、内外の科学技術界の重鎮4人がスーパーアドバイザーを務め、さらに主に県内の市立大や慶應義塾大、横浜国立大などの大学、理研、JAMSTEC（海洋研究開発機構）などの研究機関、東芝、日産自動車など著名企業の研究者・技術者60名が「科学技術顧問」に就いている。

「支援のネットワークも、サイエンスフロンティアというかつてない校名への共感が大きかった。受験者も親は反対だったが、本人が志望して決めたという話がどんどん耳に入ってくるようになったのです」（和田）

教育内容も、かなり戦略的に構想された。国が科学

## 授業で習うのは形式知だが 実験実習は暗黙知の宝庫

技術基本計画で最重要分野に指定した、「生命科学」「環境」「ナノテクノロジー材料」「情報通信」の4分野をカリキュラムに導入。「最先端科学技術を学ぶ」ことを前面に打ち出し、第一線で活躍する科学技術顧問たちとの接点をつくり出した。和田が言う。

「周囲から言われたのは、高校から技術の応用など入れるな、物理や化学の基礎を大事にしると。基礎をやるのは当然です。ただ、学びの意欲を引き出すには、出口を見せることが大切だと考えました」

先端科学技術を学ぶため、実験室にはDNA読み取り装置、ナノ材料創製室、各種電子顕微鏡、クリーンベンチルームなど最新機器が整備され、屋上には大型天体望遠鏡を備えた観測ドームを設置。総工費は94億円と通常の学校建設の3倍の資金が投じられた。

県内トップ校を目指す要請にはどう応えるか。「最も苦勞した点でもあった」と前出の栗原は言う。

「最先端の科学技術を学びつつ、大学受験のための一定以上の力をつける。トレードオフの関係にある2つの目標を両立するために行ったのが、理数科目の単位数を多く設定できる理数科高校という選択でした」

2009年4月、新興の柏陽高校長時代、進学実績を一気に高めた実力者の佐藤春夫を初代校長に招請し、開

校。前年夏の学校説明会には延べ1万人が来場。初年度入試では注目度の指標の1つ、自己推薦入試(定員の30%)の倍率で県内トップの5.21倍を記録した。その後の生徒たちの活躍は前述のとおりだ。なぜそれは可能だったのか。「知識の架け橋」から「知恵の架け橋」に向かう3年間を追ってみよう。

### 「難しいから教えない」は排除

YSFHの教育の基軸は、「サイエンスリテラシー」と呼ばれる独自の課題探究型学習の教科だ。毎週、1コマ95分授業で履修する。リテラシーとは知識や技能を生活に活用できる能力。サイエンスリテラシーは和田流に言えば、サイエンスの知識と知識を自分で結びつけて知恵を生み出すための学びということになる。

1年次は、科学技術顧問の研究者・技術者による専門分野の講義が中心となる。テーマは、光、生命の発生、地震、カーボンナノチューブとフラレーン、病理学、惑星探査など多岐にわたる。「高校生には難しいから教えないという大人の変な識別」(和田)は一切排除。その特徴は、本物の研究者たちによる本物の知識や情報をいわば“シャワー”のように浴びながら、同時に実験実習、フィールドワークといった体験型学習が重視されることだ。和田がその目的を話す。

「大切なのは、暗黙知を豊かに蓄えることです。実験実習、フィールドワークなど、体験を通じた学びは暗黙知の宝庫です。教室での授業で習うのはほとんどが形式知ですが、暗黙知が蓄えられると、あるとき、知識と知識が結びついて、自分の知恵になる。この面白さを体験すると、もっと知識を集めたくなり、知恵を使いたくなる。自己を触媒として、上昇のらせん階段に乗せる。それが教育の本来のあり方です」

2年次は、個別の課題研究に入る。授業はゼミ形式。前出の4分野に地球科学を加えた5分野別に30のゼ



栗原峰夫氏

横浜サイエンスフロンティア  
高等学校 校長



和田昭允氏

横浜サイエンスフロンティア  
高等学校 常任スーパーアドバイザー

1. 常任スーパーアドバイザー、和田昭允氏が主宰する「和田サロン」の掲示。1年生の6クラスを半分に分け、1回20人ずつで月4回、計12回、放課後に行われる。科学的知識を育むためのざっくばらんな議論が繰り広げられる。  
 2. YSFHの外観。背後に鶴見川が流れる。  
 3. 校内の壁に5名のスーパーアドバイザーの写真と業績を記したパネルが飾られている。  
 4. 屋上の天体観測ドームに据え付けられた天体望遠鏡。これにも試験に合格した生徒のみが操作できるライセンス制度が適用されている。



ミが用意される。ゼミのテーマは、「動物細胞の培養技術の習得と育種」(生命科学)、「周期構造がつくり出す光の回折・干渉現象の解明」(ナノテク材料)、「デジタル回路の設計と製作」(情報通信)など本格的だ。

生徒はゼミに所属して自分のテーマを決め、大学の研究者の支援を受けながら、探究活動を本格化させる。使用する実験機器は、「ライセンス制」。構造と操作法を理解し、試験を受けて合格すると、教員の立ち会いなしで使用できる。ここでも、生徒を子供扱いしない。「生徒たちが課題研究で実践するのは、サイエンスの基本である要素還元主義的なアプローチです。目の前のさまざまな要素と要素の間の相互作用を探っていくと、全体が見えてくる。要素、相互作用、全体の三位一体で最適化を図り、浮かび上がる全体像に納得がいかなければ、より高い視点、広い視野で全体を広げていく。この過程で知恵を育んでいくのです」(和田)

### プレゼンテーションも英語で

課題研究の成果を発表する晴れ舞台が、マレーシアへの海外研修旅行だ。サイエンス教育と並ぶYSFHのもう1つの目的は、「グローバル人材の育成」。そのため、1年次から英語のコミュニケーション力にも重点が置かれる。ネイティブの講師も加わり、プレゼンテーションとディベート重視の独自のオーラルの科目を実施。科学技術顧問から英語によるプレゼンの手法も

学ぶ。英語力を身につけた生徒たちは、課題研究の成果を全紙大ポスターに英語でまとめ、マラッカにある提携高校で全員がプレゼンを行う。

サイエンス教育ではほかにも、土曜日を利用し、科学技術顧問が学習プログラムを組む「サタデーサイエンス」、月4回、放課後に和田が生徒たちと自由に議論し合う「和田サロン」が開かれるなど、「学びのチャンス」がこれほどある学校はない(栗原)。また、「グローバル人材には日本人としてのアイデンティティも重要」との観点から、日本近現代史が必修化され、国語の古典学習の時間が増やされているのも特徴的だ。

そして、3年次になると、選択科目を中心に受験態勢に入る。和田は生徒たちに、「実験で得た暗黙知によって形式知が結びつき、自分の知恵になっていく面白さを体験すれば、3時間の受験勉強が1時間ですむぞ」と話し、励ます。志望校の選び方にも、「YSFHならではの特徴がある」と栗原は言う。

「ほかの進学校の生徒は、東大以下、難関大学への合格を目標にしますが、うちの生徒は違います。志望校選択では、自分の勉強したい分野があるかどうかを考える。国公立志向が強く、合格者が地方国立大学に分散しているのもそのためです。私立も早慶の合格者ももっと出てもおかしくないのに、名前で選ばず、バイオ系に強いからと東京農業大学や北里大学を選ぶ。一般的には、受験校に合わせて学ぶ科目を絞ったりしま

## 「この高校を出た生徒を受け入れる大学は困るだろうなあ」

すが、うちでは科目を捨てることなく、学びたいことを学べる環境を重視する。勉強はハードですが、生徒たちは頑張って結果を出してくれます」

目的意識が明確なため、卒業生については進学先の大学から、「ほかの学生に比べ、実験実習でも失敗を恐れず、取り組む姿勢が違う」といった評価が入ってくる。卒業生自身からも、「まわりの学生たちと議論ができないので物足りない」という声がよく聞かれる。それは、YSFHでは「当たり前の基準」が異なるからだ。栗原が話す。

「サイエンスでは失敗は当たり前で、失敗の積み重ねのなかから発見が生まれることを本物の研究者から教えられます。議論も当然のように行われる。質問をするのも当たり前で、サイエンスを学ぶ者は質問を恥じてはならないと、みんなが思う。新入生の最初のサタデーサイエンスでも、最後に場内にマイクを立てると、質問者が30人くらい並びます。大学も、どこで何を勉強するかで選ぶのがここでは当たり前なのです」

### 長方形と三角形の違いとは

ほかの高校にはない「当たり前」が独特の雰囲気を生む。実際、校内を歩くと、すれ違う生徒が向こうから明るい声で挨拶してきて、こちらも思わず開放的な気分になる。この雰囲気について、和田は、YSFHには「いじめがほとんどない」と興味深い話をした。

いわく、理数系が好きなお子様には「ユニーク」なタイ

プが多く、普通の学校では浮いたり、輪から外されたりしがちだが、ここでは「同好の士」として互いに個性を認め合い、議論を楽しむ雰囲気醸成されている。

それは先輩と後輩の間にも表れ、昨年からの卒業生の提案で、卒業生が夏休み中、在校生の進路相談を行う「卒業生フォーラム」が始まった。在校生も小中学生を対象に「サイエンスの魅力を伝えよう」と、自然体験活動などのイベントを主体的に計画し、実施しているという。多様なつながりの連鎖がここにはある。

和田は以前、ある生徒から1枚の図を示された。左側には縦長の長方形が、右側には長方形をなかに含んで余りあるほどの鋭角の三角形が立つ。左の長方形の上の辺は、一般の進学校の生徒が目指す大学受験のラインで、合格すればそこで止まる。右は自分たちで、長方形も包み込みつつ、もっと先を目指す。和田は生徒にサインさせたその図を宝物にし、棚に飾っている。

「この高校を出た生徒を受け入れる大学は困るだろうなあ」。YSFHを見学したノーベル賞受賞者、理研理事長の野依良治の感想だ。<sup>かいぎやく</sup> 謙謙だろうが、日本の学校教育の問題点を突く発言でもある。教育の本質と受験をいかに両立させ、新しい時代に求められる人材を育成するか。YSFHでも教員集団内部で激論が交わされ、今もバランス取りに苦慮するという。ただ、その答えは、「知恵の架け橋」を渡る生徒たち自身が、未来に向けて示してくれるのではないかと。頂点が高く伸びる三角形の図がそう語っている。 (文中敬称略)



YSFHで最も重視されているサイエンスリテラシーの授業。教壇に立つ人物のほとんどが学校外の人たちだ。写真は味の素の社員が担当した「おいしさとうま味」の授業の様子。

Text = 勝見 明

ジャーナリスト。東京大学教養学部中退。著書「石ころをダイヤに変える「キュレーション」の力」『鈴木敏文の「統計心理学」』『イノベーションの本質』(本連載をまとめた、野中教授との共著)、『イノベーションの作法』(同)、『イノベーションの知恵』(同)。

## 学校教育に「知の方法論」を組み込む 直接経験により暗黙知と形式知を結ぶ

野中郁次郎氏 一橋大学名誉教授

YSFHの設立には、「まったく違った発想の高校をつくる」という和田氏のコンセプトが重要な役割を果たした。それは極めて野心的な戦略でもあった。「サイエンスフロンティア」の名称は、それ自体がビジョンを示す。結果、研究者たちの共感を呼んで支援ネットワークが形成され、サイエンスリテラシーというほかに例のない課題探究型学習が可能になった。さらに、国の科学技術基本計画で指定された最重要4分野を取り込み、国家的使命に結びつけた。「サイエンス」と「進学」という矛盾も、カリキュラムに「知の方法論」を組み込むことで両立させた。

### 技能スキルから認知スキルへ

過去の工業化社会では技能スキルの養成が必要で、工業高校がその任を果たした。今の知識社会では、知の創造力が問われる。多様な知を結びつけ、新たな知をいかに生み出すかという知の方法論が重要になる所以である。この転換を象徴するのがYSFHだ。

その最大の特徴は、知識と知識を結びつけ知恵に変換する仕組みにある。たとえば、サイエンスリテラシーの学びは、サイエンスの基本的な方法論である要素還元主義をベースにして進められる。より高い視点、より広い視野で物事を考えさせることで、一見、関係ない要素が結びつき、要素、相互作用、全体の三位一体で新しい世界が開いていく。

さらに注目すべきは、実験実習やフィールドワークなど、直接経験が重視されている点だ。直接経験では人間の知覚が働く。知覚はわずかな手がかりからも微細な変化を直感できるため、無自覚でも豊富な暗黙知が得られ、偶然を取り込むこともできる。

サイエンスリテラシーの授業で本物の研究者たちの話を全身で聞くと、そのときは完全にはわからなくても、形式知が無意識に蓄積される。さらに実験の場で新たに暗黙知が得られると、ふとしたきっかけで「あっ、そういうことか」と、それまでに教えられた形式知と蓄えられた暗黙知が結びつき、新たな知が生まれる。これを繰り返し、知識を知恵化する上昇のらせん階段を上る。こうした知の方法論を実践しながら、生徒たちは知恵を身につけていく。

### 「魅力ある高校」の条件とは

知識社会では、いかに知るかの認識論とともに、いかに生きるかの存在論も重要だ。生徒たちは研究者との触れ合い、歴史の学び、和田氏との擬似的な徒弟関係のなかで、暗黙的にそれを自問するのだろう。それは、大学の志望の仕方にも表れる。

これらの経験を生徒一人ひとりが内面化していくと、YSFH独自の文化が醸成される。失敗を恐れずに仮説・検証を繰り返す。議論や質問を介して暗黙知と形式知を結びつけ知恵化する。自らをオープンにして相手とつながる。このような文化はほかの高校ではなかなか見られない。和田氏によれば、「魅力ある高校」とは、「魅力ある人材を育てあげる全人教育の花園」であり、「そこに咲くのは、知識を縦横に使いこなす知恵でなければならない」という。

戦略的なコンセプトにより、知の方法論を教育の根幹に組み入れたYSFHは、小中学校にも大学にも影響を及ぼしつつある。知識社会に向け、日本の教育システムを変えていくためのプロトタイプを示しているのだ。