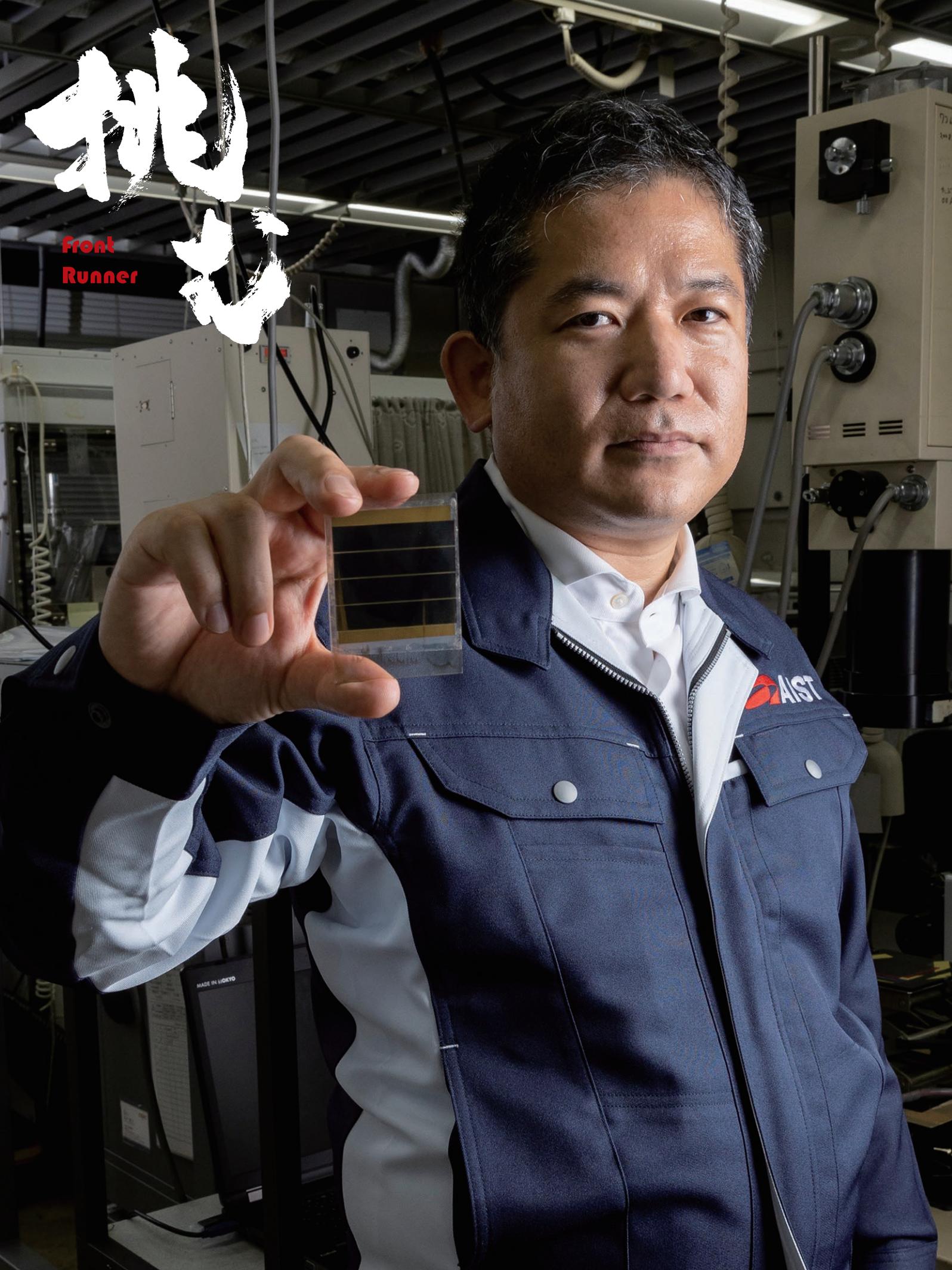


日経サイエンス

挑

Front
Runner



村上 拓郎

産業技術総合研究所・
有機系太陽電池研究チーム長

(むらかみ・たくろう) 1977年神奈川県生まれ。2000年桐蔭横浜大学工学部卒業、2005年同大博士課程修了。スイス連邦工科大学ローザンヌ校博士研究員、桐蔭横浜大専任講師を経て、2011年産総研研究員、2021年から現職。SCIENTIFIC AMERICANが選んだ2005年のベスト50や電気化学会のHonda-Fujishima Prizeなどを受賞している。

第132回
写真：的野弘路

次世代太陽電池の普及へ 技術基盤の整備に注力

日本で発明されたペロブスカイト太陽電池
課題の耐久性向上へ新材料開発に取り組む
専用設備を整え実用化へ研究を加速させる

ペロブスカイト太陽電池は脱炭素社会実現のカギを握るキーテクノロジーだ。現在の太陽電池が抱えるコストや設置場所の制限といった問題を解決できる。開発した桐蔭横浜大学特任教授の宮坂力はノーベル賞の有力候補と目される。弟子で産業技術総合研究所・有機系太陽電池研究チーム長の村上拓郎は、ペロブスカイト太陽電池が注目されるきっかけを作った1人だ。「雑草派」の研究者は実用化に向けて精力的に取り組む。(文中敬称略)

茨城県つくば市にある産業技術総合研究所で、ペロブスカイト太陽電池の実用化研究を加速させる施設が2023年度にも稼働する。電池のセルを自動作製する設備、性能や耐久性を評価する装置などが備わる。脱炭素技術の実用化へ集中投資する国の「グリーンイノベーション基金」事業に採択された。

ペロブスカイトの研究や試作に必要な機器をそろえたのが特徴だ。同様の施設は米国で進むくらいで、実用化競争のライバルとなる欧州や中国にはない。「企業が手を出しにくい基礎的な技術基盤を整えたい」と村上は話す。

1mを超す大面積のモジュールの性能や耐久性を企業が単独で評価するのは難しい。新たな材料を持ち込めばセルの試作と評価ができる。性能や耐久性を左右する材料メーカーに参入を促し、実用化に向けた研究を加速させる狙いだ。

ペロブスカイト太陽電池は室内の照明や雨の日でも発電でき、柔らかくて軽い。フィルムに印刷して製造でき、レアメタル(希少金属)を必要とせずコストを下げやすい。世界で技術開発競争が進む。シリコン太陽電池は40年かけて発電効率を上げ25%を超すまでになった。ペロブスカイト太陽電池は10年もかからずにシリコン並みになり、最高効率は25.7%に達した。

ペロブスカイトは「灰チタン石」という鉱物の結晶構造を指す。この結晶構造を有機・無機複合材料で作ったのがペロブスカイト太陽電池だ。桐蔭横浜大の宮坂らが色素増感太陽電池で光を吸収する色素の代わりにペロブスカイトを使い、太陽電池として動作することを2009年に見つけた。しかし、光電変換効率が3%ほどで、ペロブス

カイトの層はすぐに壊れるため、注目されなかった。その状況が変わったのは3年後の2012年、村上と英オックスフォード大学のスネイス(Henry Snaith, 現教授)が共同研究を発表してからだ。低かった効率が10%を一気に超えた。

研究者の参入が増え、企業の研究開発が盛んになってきた。実用化では、海外のスタートアップ企業が先行している。ポーランドのサウレテクノロジーが2021年、インクジェット印刷による年産4万m²(発電量10メガワット)の生産を開始。中国の大正微納科技も2022年夏、同様の規模の生産を始めた。日本でも企業は大面積化と高効率化を急ぐ。積水化学工業や東芝が2025年の量産を目指し、パナソニックホールディングスやカネカ、アイシンなども技術開発に取り組む。

「本当か？」2011年秋、来日したスネイスから効率向上の成果を伝えられると、村上は驚いた。2人はスイス連邦工科大学ローザンヌ校のポストドク時代に知り合い、色素増感太陽電池をテーマにしていた。「当時は湿式の色

素増感太陽電池で効率は11%ほどで、固体化したものは6%程度。ペロブスカイトが湿式の効率を超えるなんて考えられなかった」と村上是振り返る。

母校の桐蔭横浜大の専任講師になった村上と英国に戻ったスネイスは科学技術振興機構（JST）の戦略的国際共同研究事業に採択され、色素増感太陽電池の高効率化の研究を始めた。ペロブスカイト太陽電池の研究を始めたのは、打ち合わせのためにスネイスが2009年来日したことがきっかけだ。宮坂らのペロブスカイト太陽電池の成果が米化学会誌に掲載されたことを祝い、関係者が集まって懇親会を開いた。研究内容を聞いた2人は液体の電解質を固体化しようとする。「ペロブスカイトという新しい材料は誰もやったことがないから面白いのでは」というノリがきっかけだった。

スネイスは全固体の色素増感太陽電池を研究し、知見があった。電解液の代わりにする固体の電荷を運ぶ材料（ホール輸送材）をペロブスカイト層の上に塗り、金属電極を蒸着すれば固体にできると考えた。オックスフォード大から大学院生のリー（Michael Lee）が来日し、村上から作製法を学んだ。だが、桐蔭横浜大には蒸着装置がなかった。リーは帰国後、半年ほど

で成果を出す。この論文が2012年に*Science*誌に掲載され、ペロブスカイト太陽電池ブームを作り出した。

中学、高校と「理科を除いて勉強は苦手だった」。第一志望の東京農業大学は不合格で、桐蔭横浜大に進学した。受験偏差値は高くない。

村上が成長するきっかけを作ったのは、3人の師との出会いだ。まず、神奈川県立弥栄東高校（現在の相模原弥栄高校）の生物教師だった田口正男だ。農学博士号を持つ田口は「トンボ博士」として知られる。都市部のトンボの生態を調査し、国内外の学会で発表していた。定年後も大学の客員研究員や非常勤講師を務めながら研究を続ける。

田口は授業で村上の熱心な態度が気に入る。顧問を務める環境生態部に誘った。植物の光合成に興味を持っていた村上は、水泳部と掛け持ちでトンボの調査を始める。

取り組んだのが清流にすむカワトンボ類の繁殖戦略の解明だ。オスは縄張り意識が強く、他のオスがメスに近づくのを排除する。普通は翅が透明なのがメス、オレンジ色がオスだが、透明なオスがいる。オレンジ色の翅のオスは隙をついてメスと交尾する。草木が茂って日陰が多い河川では、縄張りの主を騙しやすい。河川的环境や植生が

どう影響するのか。村上は田口の指導を受けながら自分で考え地道に調べた。

村上には田口の下で学んだ3年間は特別な時間だった。「妥協を許さず、とても厳しかった。研究戦略や調査法をどう考えるのか。研究者としての基礎は田口先生から学んだ」と感謝する。

田口の影響を受け、バイオサイエンスに興味を持ち、この分野の研究者になりたいと希望するようになった。受験偏差値は高くはないが、桐蔭横浜大への進学には希望を持っていた。他大学や企業で活躍した研究者を教員として採用していたからだ。田口からも「科学研究費補助金など外部資金を得ている教員もいるから、研究するにはよい環境ではないか」と勧められた。

入学すると、桐蔭横浜大の授業は肌にあった。「なぜそうなるのか」。科学の本質的な部分を教える授業が多かった。教員は高校の初歩レベルから紐解きながら工夫して教えた。暗記中心で教科書を説明することが多い高校の授業では感じられなかった「おもしろさ」を感じた。受験科目になく高校3年生ではさぼっていた化学に興味を持つようになり、知識を積み上げていった。

大学1年生のとき、2人目の恩師となる教授の川島徳道（現在は環太平洋大学国際科学・教育研究所所長）と出会う。医用材料の授業に感銘を受け、研究室を訪ねて「何か手伝いたい」と掛け合った。熱心な姿勢に感心した川島は「どうぞ」。授業の合間に、大学院生や4年生らの実験を手伝い、先輩たちから教えてもらうようになった。

川島は学生たちの英会話に力を入れ、毎朝30分、学生たちは講習を受けていた。村上も参加するようになり、4年生になると英語で学会発表できるまでに腕を上げた。「何にでも興味を持ち、ものおじもしなかった」と川島は振り返る。村上は自由にやらせてくれる川島の指導で、様々なテーマで実験を繰り返し、実験の技能を高めた。



研究者はやんちゃでいい 無茶な課題であっても 挑戦すれば次の道が開く

4年生で川島研に正式配属されると、活性酸素を使った材料の表面処理技術の研究を始めた。高分子材料の表面改質などに生かした。

博士課程に進むころ、3人目の師となる宮坂が富士写真フイルム（現・富士フイルムホールディングス）から来ると知る。宮坂は色素増感太陽電池研究の第一人者として知られていた。

小学生のころ、石油代替エネルギーの開発を目指す国家プロジェクト「サンシャイン計画」のテレビ番組を観て、太陽エネルギーや人工光合成に強い関心を持った。子ども心に夢見た研究ができるかもしれない。川島に相談すると、むしろ二足のわらじを勧められた。「電気化学をやると、理論が身につく。研究者として成長できると考えた」と川島は明かす。桐蔭横浜大の自由な雰囲気もプラスになったようだ。

宮坂は村上を「とても優秀な学生だった」と振り返る。「知識もあり、やる気と意欲が高かった」。午前中は川島研で活性酸素の研究や後輩を指導し、午後は宮坂と研究した。博士論文は、活性酸素と色素増感太陽電池を組み合わせるテーマにした。光を吸収する光電極に使う酸化チタンのナノ粒子の膜を活性酸素で表面処理することで性能を高めることを目指した。

宮坂とは「光キャパシター」に取り組んだ。色素増感太陽電池を応用し、電気を生み出しつつ、蓄えられるようにした。色素でコーティングされた粒子の層に活性炭の層を重ねた。発電と同時に蓄電もできる電池は世界初で、SCIENTIFIC AMERICANが選んだ2005年のベスト50に宮坂とともに選ばれた。

編集部から連絡を受けた村上は「最



初は怪しい賞じゃないかと思った」と笑う。しかし、仲間に話すと「すごい賞じゃないの」といわれ、大きな自信になった。「宮坂先生からは構想力と突破力を学んだ」と振り返る。

モットーは「研究者はやんちゃな方がよい」だ。研究者は「これだ」と思ったら、多少無茶なことにも取り組むチャレンジ精神が大切だと考える。「普通なら取り組まないような方法も積極的に試してみるべきだ」。失敗に終わっても、新しい知識や教訓が得られる。「自分は頭脳明晰（めいせき）ではないから、違う戦略を考える必要がある。常識的には無理だなと思うテーマでも挑戦することが大切だ」と語る。

実は、スネイスとの共同研究には後悔がある。産総研の色素増感太陽電池の研究プロジェクトに採用されたため、雇用契約の関係でペロブスカイト太陽電池に注力できなかった。「色素増感からペロブスカイトに研究対象を移していたら、もっと論文を書けたかもしれない」と明かす。

ペロブスカイト太陽電池の実用化への思いは強い。最大の課題は耐久性の低さだ。シリコン太陽電池は屋外の環境で20年ほど使える。一方、ペロブスカイト太陽電池は空気中の水分に弱

く、モジュールを最低10年間は湿気から守る防水層などで密閉する必要がある。生産性の低下やコスト増の要因になる。

村上らは日本精化と共同で、発電効率が18.7%と20%に近く、高い効率を1000時間以上維持できるペロブスカイト太陽電池を開発した。ポイントはペロブスカイト層で発生したプラスの電荷を持つ正孔（ホール）を運ぶ輸送層向けの新たな材料だ。湿気を取り込みやすいリチウム塩などの添加剤なしでもホールがよく動く。劣化のメカニズム研究にも取り組み、寿命を延ばす化学構造を探っている。

「普及まで見届けたい」と話す。産総研では2025年度までに、変換効率が20%以上で1500時間試験した後でも9割以上のセル開発を目指す。屋外でも10年近く使える見通しがたってきた。さらに延ばすにはアカデミアだけでなく、企業の力が欠かせない。実用化に向けた基盤技術を開発する一方で、産総研に導入される新実験室を活用し、新規参入する企業の技術指導や相談などに応じる構えだ。多くの企業がこの分野に飛び込み、活気に満ちることを望んでいる。

（日本経済新聞編集委員・青木慎一）