

No.23 November 2020

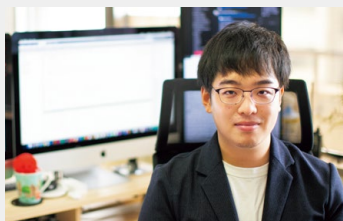
FEATURE STORY

Visualizing the biological information of plants to benefit the future of agriculture

Agriculture in Japan is presently undergoing a period of change. Over the last five years, elderly agricultural workers are leaving the industry at an accelerated pace.

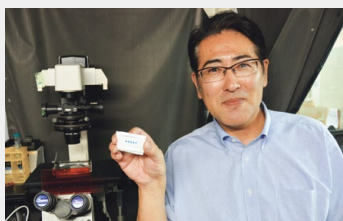


Research Highlights



The 'eyes' say more than the 'mouth', and can distinguish English sounds

A new method to estimate English /l/ /r/ discrimination ability from human pupillary response 5



Microfluidic chip technology enables rapid multiplex diagnosis of plant viral diseases

Early detection of crop disease at the genetic level, and protection of food safety 6



Why can our brains learn and memorize?

Comprehensive understanding of expression mechanism of long-term potentiation and long-term depression of hippocampal excitatory synaptic strength 7



Starting development of a wireless charging system for amusement park Go-karts

A future vehicle that will make children's dreams come true ... 8

Pick Up

Advanced vehicle probe data collection devices installed in Toyohashi City official vehicles identify potential pedestrian accident hazard spots..... 11

Visualizing the biological information of plants to benefit the future of agriculture

Kotaro Takayama



Agriculture in Japan is presently undergoing a period of change. Over the last five years, elderly agricultural workers are leaving the industry at an accelerated pace. Going forward, the farming population is predicted to decline rapidly. On the other hand, as middle-aged people focus on their health, demand for fresh vegetables is growing, and ensuring their stable supply has become an urgent issue. This has led to attention on indoor farming and intelligent greenhouses that efficiently and stably produce vegetables. To meet this challenge, Professor Kotaro Takayama is working on developing solar-powered indoor farms which practise smart agriculture by monitoring the biological information of plants and analyzing the collected data. With such systems already in place, Professor Takayama's work is now gaining recognition.

Interview and report by Madoka Tainaka

Establishing “strong agriculture” as a business

In any era, a stable supply of food is an essential issue. With farms in Japan largely family operated, Professor Takayama worries about their ability to continue operating in the future. In addition, the population of farmers continues to rapidly decline, and consumer habits will significantly change over the next ten years. In order to respond to both of these issues, Professor Takayama states that it is essential to create a new agricultural production system that can provide a stable supply of fresh vegetables and other goods.

According to Professor Takayama, “The best option is indoor farming and/or intelligent greenhouses. If you look at the situation of about ten years ago, hand-grown vegetables from local farmers were significantly more popular than indoor-grown varieties, but today it is now possible to provide a stable supply of greenhouse-grown vegetables offering 100% traceability. Greenhouse-grown vegetables are now increasingly entering the mainstream for consumers due to their proven quality, safety and security. With middle-aged

people focusing on their health, and the demand for fresh vegetables having grown by around 150% to 200% over the past ten years, I believe that, moving forward, reliance on large-scale indoor farms will gradually increase. On the other hand, operating such facilities requires adequate financing, which means the farms will need to establish proper business models. To achieve that, managing production will be essential. Up to now, this industry has relied mainly on the intuition and experiences of experts, but there was essentially no scientific approach,” says Professor Takayama.

Knowledge about environmental controls for indoor farms first developed approximately 20 years ago, and automated computer controls are already being implemented



Commercially profitable large scale of intelligent greenhouse is essential

across the world. However, testing has not been sufficient. To address this, Professor Takayama created an optimal production system to monitor plant growth and regulate the environment using extremely low-cost methods.

“A scientific approach is sure to improve productivity,” he says. “However, even if yields increase by 400% or 500% compared to a normal greenhouse, it is pointless without a business model. We need to look at the balance between cost and revenue while providing optimal production. To do this, we first need to measure conditions, analyze the resulting data, and determine optimal production. If we can do that, I believe we can realize a strong agricultural industry that can compete in the marketplace,” says Takayama.

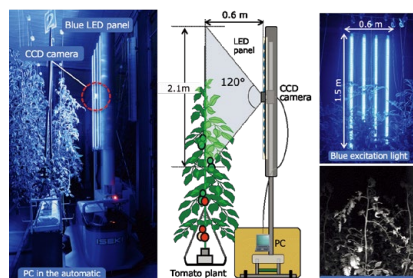
Measuring and diagnosing plant photosynthesis, controlling the cultivation environment

Addressing this, Professor Takayama has adopted image-based measurements and analyses to understand plant growth conditions. He goes on to explain the background behind his methods.

"CCD cameras that would have cost 1,000,000 yen 10 years ago have become cheaper, and cameras with the same functions are now equipped on smartphones. It is now even possible to analyze images with smartphones. Due to this, image analysis technology can now be brought on site to the farm," he says.

Particularly revolutionary is his research that uses images to capture the plant's photosynthetic activity. In a world first, Takayama developed a robot that can automatically measure photosynthesis in indoor farms. In 2017, Iseki & Co., Ltd. began selling the robot as a diagnostic device for plant cultivation. Indoor farms are broadly divided into artificially lit facilities that use LEDs and other artificial light sources, and solar-powered varieties. Professor Takayama focuses on the latter.

"The robot automatically moves throughout the solar-powered indoor farm at night and measures fluorescent imagery of tomato chlorophyll (Chl)," he explains. "Chlorophyll absorbs light energy, and the chlorophyll fluorescence is a portion of leftover energy that was not used in photosynthesis. It is discharged as red light.



The robot automatically moves throughout the solar-powered indoor farm at night and measures fluorescent imagery of tomato chlorophyll

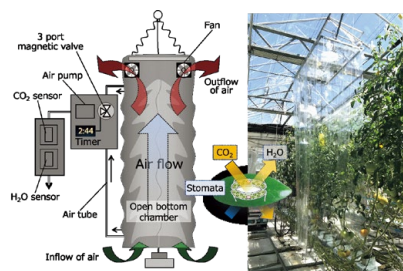
To measure this, the leaves of the tomatoes are illuminated at night using a blue LED excitation light. Then, the robot stimulates the photosynthesis reaction system artificially and the change in the intensity of the chlorophyll fluorescence is measured. The process by which the chlorophyll fluorescence intensity changes with time is called an 'induction phenomenon.' In 1987, my instructor, Kenji Omasa, Professor Emeritus of the University of Tokyo, became the first person in the world to take image measurements of this process. Changes in fluorescence intensity show the plant's photosynthetic capabilities and stress impacts, so it is helpful in understanding plant conditions."

Upon actually using the robot to measure a 170- by 76-meter greenhouse growing 30,000 tomato plants, it became clear that photosynthesis activity varied by location. Visualizing the analysis results through a heat map makes

it possible to improve the state of growth by controlling various environmental conditions such as water volume and temperature.

Using a variety of new technologies to bring about innovations in agriculture

Professor Takayama is also working on a real-time monitoring system to measure photosynthesis. With this system, the cultivated plants are wrapped in tubular, transparent vinyl bags, and the rate of photosynthesis and transpiration is examined by measuring the concentration difference of H_2O and CO_2 in air flowing in from below the tube, and in the air ejected from a fan above. The low-priced sensor's ability to precisely measure photosynthesis and transpiration has garnered attention, and in 2019, the system went on sale as a joint collaboration between Kyowa Co., Ltd. Division of Hyponica and Plant Data, a venture launched by Toyohashi University of Technology. The system is getting lots of attention, with inquiries even coming from countries with advanced agricultural industries, such as Holland.



Photosynthesis and transpiration real-time monitoring chamber

"Though increasing CO_2 concentration encourages photosynthesis, injecting CO_2 is not necessary if there is already sufficient photosynthesis occurring. This reduces cost." explains Professor Takayama.

In addition, a cheaper lightweight hanging robot that can be used in conventional small and mid-size greenhouses to measure plant biology imagery information is also being offered. In addition to measuring chlorophyll fluorescence imagery, moving the camera up and down makes it possible to capture color images of the entire plant and precise details. Using deep learning to analyze the acquired images makes it possible to automatically detect changes in growth along with flowering and fruit bearing conditions. This is helpful in predicting harvest time and yield. Work is also underway to develop a visual user interface that will make this information intuitive to understand.

"Deep learning is an incredibly groundbreaking technology. You can quickly analyze and develop growth models that would have previously taken a significant amount of time.

Gathering large volumes of data from daily measurements makes it possible to further increase precision. Deep learning-equipped AI makes it possible to dramatically change conventional agriculture." says Takayama.

In addition, research and development is advancing to measure plant stress conditions by utilizing super-compact odor sensors equipped with ultra-sensitive silicon CMOS ion imaging sensors developed at the university by Professor Kazuaki Sawada.

"In fact, neighboring plants communicate with smell, and diagnosing these odors shows us the health of the plant. Though I learned this when studying abroad in Holland in 2007, at the time I could have never imagined that we would be able to develop small, low-cost sensors. We can use these odor sensors as alarms to show us when there is insufficient water or too much pesticide. Furthermore, we expect these simple sensors will be able to be used at production sites," says Takayama.

With abnormal weather patterns and disasters common in today's world, more and more people are looking for a reliably priced supply of vegetables that can be consumed with peace of mind. Professor Takayama's accomplishments put him at the forefront of such future innovations in agriculture.

Reporter's Note

Fond of biology and physics from a young age, upon arriving at university, Professor Takayama studied agricultural machinery and agricultural civil engineering. His field of study focused mainly on the durability of agricultural machinery, which was not a popular field at the time. However, while studying under his instructor, Takayama had the opportunity to measure chlorophyll fluorescence, and he then began to work to apply his research to the agriculture industry.

"At the time, machinery was very expensive, and the idea of applying my research to the agricultural field was dismissed as nonsense. But as the technology developed into the present day, consumer needs significantly changed, and the field became a real focus of attention. Even I was surprised," says Professor Takayama.

Smart agriculture and smart food chains are now the biggest topics for humanity, and are essential in achieving a sustainable society. Professor Takayama humbly dismisses his successes as being down to good timing, but perhaps it is more likely that his insights were key.



植物の生体情報を見える化して、未来の農業に役立てる

いま、日本の農業は転換期にある。ここ5年ほどで、高齢の農業従事者の離農が加速しており、今後、農業生産人口が急激に減少すると予測されているためだ。一方、中高年の健康志向を背景に、生鮮野菜へのニーズが高まっていることから、その安定供給が急務となっている。そこで注目されているのが、効率的かつ安定的な野菜の生産が可能な植物工場である。こうしたなか、高山弘太郎教授は、太陽光植物工場において、植物の生体情報をモニタリングし、取得したデータを解析することで、農業のスマート化に取り組む。すでに実用化されたシステムもあり、高山教授の挑戦に注目が集まっている。

■ ビジネスとして成立する「強い農業」のために

いつの時代においても、食の安定供給は最重要課題だが、家族経営が大多数を占める現状の日本の農業は、近い将来立ち行かなくなる、と高山教授は危機感を募らせる。そして、急激に進む農業生産人口の減少と、10年程度で大きく変わる消費者マインドの両方に対応するためには、生鮮野菜などを安定的に供給するための新たな農業生産システムの構築が欠かせない、と指摘する。

「その有力候補が植物工場です。10年ほど前なら、植物工場の野菜より、農家のおじさんの手作り野菜のほうがはるかに人気でしたが、いまや、安定供給が可能で、完全なトレーサビリティができる温室育ちの野菜は、品質が保証された安全・安心な食料として広く受け入れられています。中高年の健康志向を背景に、生鮮野菜へのニーズがこの数十年で1.5～2倍に伸びていることもあり、今後はますます大規模な植物工場への依存が高まると考えられます。一方で、植物工場の運用にはそれなりの資本が必要であり、農業をビジネスとしてきちんと成立させる必要があります。そのためには、生産マネジメントが欠かせません。しかし従来は熟練者の経験と勘に頼ってきた部分が大きく、科学的なアプローチはほとんどなされていませんでした」と高山教授は言う。

もともと、植物工場の環境制御の知見は20年ほど前に確立されていて、すでに世界中でコンピュータによる自動制御が行われている。しかし、その検証までは十分になされてこなかったのだという。そこで高山教授は、植物の生育状況をモニタリングし、もっともコストがかからない方法で環境調整をして、より最適な生産を実現しようとしているのだ。

「科学的なアプローチをすれば、生産性は必ず向上します。しかし、たとえば通常の温室栽培の4～5倍の収穫量があったとしても、ビジネスとして成立しなければ意味がない。コストと利益のバランスを見ながら、最適な生産をすべきです。そのためにはまず、状態を測って、そのデータをもとに解析をして、最適な生産を見極める必要がある。それが可能になれば、市場で競争できる強い農業を実現できるでしょう」

■ 植物の光合成を計測・診断して、生育環境をコントロールする

こうしたなか、高山教授が植物の生育状況を把握するために採用しているのが、画像による計測と解析である。その背景を、高山教授は次のように説明する。

「10年前なら100万円もしたようなCCDカメラが廉価になり、いまや同等の性能のカメラがスマートフォンに搭載されるようになり、画像解析もスマホ内蔵のコンピュータでできるようになりました。これにより、農業現場に画像解析技術を持ち込むことができるようになったのです」

とりわけ画期的なのが、植物の光合成活性を画像で捉える研究だ。世界に先駆けて、植物工場で光合成を自動計測できるロボットを開発して、2017年には井関農機が植物生育診断装置として販売を開始している。なお、植物工場は、LEDなどの人工光源を活用する人工光型植物工場と太陽光植物工場に大別されるが、高山教授は後者を対象としている。

「このロボットは、太陽光植物工場内を夜間に自動走行しながら、トマトの葉緑素、つまりクロロフィル(Chl)の蛍光画像を計測するものです。Chl蛍光とは、Chlが吸収した光エネルギーのうち、光合成に使われずに余ったエネルギーの一部が、赤色光として捨てられたものです。これを測るために、夜間にトマトの葉に青色LEDによる励起光を照射して、光合成反応系を人工的に刺激し、その際のChl蛍光の強度変化を測ります。Chl蛍光強度が時間とともに変化する現象は『インダクション現象』と呼ばれていて、これは私の恩師である大政謙次東京大学名誉教授により、1987年に世界で始めて画像計測されました。この蛍光強度の変化が、植物の光合成能力やストレスの影響を表すことから、植物の状態を知ることに関与するのです」

実際にこのロボットを使って、トマト3万本を育てる170m×76mの温室で計測してみたところ、場所によって光合成の活性にムラがあることがわかった。こうした解析結果をヒートマップで見える化することにより、水やりや温度などさまざまな環境条件をコントロールして、生育状況の改善に活用できる、というわけだ。

■ さまざまな新技術が農業に革新をもたらす

光合成の計測に関しては、リアルタイムのモニタリングシステムも手がけている。こちらは、栽培している植物を透明の筒状のビニール袋で包み、下部の開口部から流入する空気と、上部のファンから排出される空気のCO₂濃度とH₂Oの濃度差を計測することで、光合成の速度と蒸散速度を測るというものだ。安価なセンサーで高精度に光合成と蒸散が計測できることから話題を呼び、2019年に豊橋技術科学大学大学発のベンチャーであるPLANT DATAと協和ハイボニカが共同で市販も始めた。引き合いも多く、農業先進国であるオランダからの問い合わせもあるという。

「光合成を促進させたいのならCO₂濃度を高めれば良いわけですが、十分に光合成ができていなければ、わざわざCO₂を投入する必要はなく、コストを抑えられます」と高山教授は説明する。

一方、より安価に、しかも従来型の小・中規模のビニールハウスにも導入できる、軽量の吊り下げ型の植物生体画像情報計測ロボットも提案している。こちらはChl蛍光画像計測に加えて、カメラを上下に動かすことで、植物全体や詳細のカラー画像を捉えることが

可能だ。取得した画像を深層学習で解析することで、生育の変化や、花や果実の自動検知ができるようになり、収穫時期や収穫量の予測にも役立てられるという。また、それらを直感的に理解できるように見える化した、ユーザー・インタフェースの開発にも注力する。

「深層学習はじつに破壊的な技術で、これまでなら慎重に時間をかけて開発していた生育モデルの開発も解析も、あっという間にできてしまいます。日々の計測から大量のデータが集まれば、より精度を高めることもできる。深層学習によるAIは、これまでの農業を劇的に変える可能性があります」

さらに、学内の澤田和明教授が開発した超高感度シリコンCMOS型イオンイメージングセンサを用いた超小型の匂いセンサを用いることで、植物のストレス状態を計測する研究開発にも取り組む。

「じつは植物同士は匂いでコミュニケーションをとっていて、その匂いを診断することで植物の調子がわかるんですね。これは2007年にオランダに留学していたときに学んだものですが、当時から想像もできないほど、廉価に小型の装置を開発することができました。この匂いセンサを使えば、水が足りないとか、農業が多すぎるといったアラームとしても使えます。まさに生産現場にフィットする、簡易なセンサとして活用されることを期待しています」

異常気象や災害の多い昨今、安定した値段で安心して食べられる野菜の供給は人々の願いだ。高山教授の成果が、これからの農業に革新をもたらすことに期待したい。

(取材・文＝田井中麻都佳)

取材後記

もともと生物と物理が好きだったことから、大学では農学部へ進学して、農業機械や農業土木を学んだ高山教授。しかし、当時の研究対象は農業機械の耐久性などが主で、人気のない分野だったという。ただ、恩師の下でクロロフィル蛍光の計測と出合ったことがきっかけとなり、これを農業に応用したいと研究に励んだ。

「当時は機器が高額で、農業現場への応用などナンセンスだと怒られました。それがいまでは技術が進展し、消費者ニーズも大きく変化したことで、まさに注目の分野になった。自分でも驚いています」と高山教授は語る。

スマート農業やスマートフードチェーンは、いまや持続可能な社会の実現に欠かせない人類最大のテーマだ。高山教授はタイミングが良かっただけと謙遜するが、やはり先見の明があったのだろう。

Researcher Profile

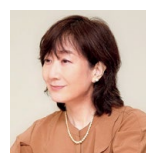
Dr. Kotaro Takayama

Dr. Kotaro Takayama received his PhD degree in 2004 from The University of Tokyo, Japan. He started his career as a research assistant at Ehime University in 2004 and became an assistant professor there in 2007. From 2013 to 2017, he was an associate professor, and became a professor in 2017 there. He held a broad variety of positions including a guest researcher at Wageningen University and a part-time lecturer at Osaka Prefecture University and Yamaguchi University, respectively. He joined at Research Center for Agrotechnology and Biotechnology, Toyohashi University as a specially appointed professor in 2018. Now he is a professor at Electronics-Inspired Interdisciplinary Research Institute, Toyohashi University of Technology and Ehime University.



Reporter Profile

Madoka Tainaka is a freelance editor, writer and interpreter. She graduated in Law from Chuo University, Japan. She served as a chief editor of "Nature Interface" magazine, a committee for the promotion of Information and Science Technology at MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology).

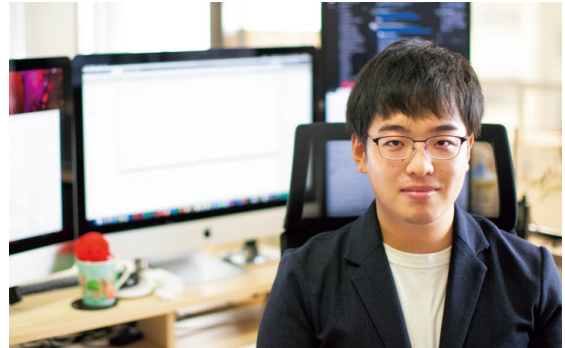


The 'eyes' say more than the 'mouth', and can distinguish English sounds

A new method to estimate English /l/ /r/ discrimination ability from human pupillary response
by Yuya Kinzuka



A joint research team comprised of members of Toyohashi University of Technology's Department of Computer Science and Engineering, and EIRIS (Electronics-Inspired Interdisciplinary Research Institute), has discovered that the difference in the ability to hear and distinguish English words including L and R, which are considered difficult for Japanese people, appears in pupillary (the so-called "black part of the eye") responses. While pupil dilation performs a primary role of adjusting the amount of light that enters the eye, it is known that it can also reflect the cognitive state of humans. In this study, the research team conducted experiments to simultaneously measure the size of the pupil while playing English words in combinations such as "Light" and "Right", and clarified that it is possible to objectively estimate the ability to distinguish English words by observing pupil dilation.



In an increasingly globalized world, we often hear about the importance of improving English proficiency. However, we Japanese are said to be very weak in the pronunciation of and the hearing and distinguishing of L and R which are sounds that do not originally exist in Japanese, such as in "glass" and "grass". Given our understanding that words that cannot be recognized cannot be pronounced, the ability of each person to hear and distinguish English is a very important indicator in effective English learning.

As in the proverb: "The eyes say more than the mouth", it is known that pupil dilation can reveal various cognitive states. So, the research team tried to estimate the ability to hear and distinguish L and R by focusing on pupillary dilation response in which the pupil dilates with respect to the difference in sound. For this study, the research team played a repeating loop of words with an English L sound (e.g., "light") into which were randomly dispersed examples of the same word but with an R sound (e.g., "right"). The team then investigated how the pupils of test participants responded to those sounds. Participants were classified into two groups according to their scores in a test of their ability to distinguish English sounds, which was performed in advance, to compare the pupillary response of both groups.

As a result, the group with a strong ability to hear and distinguish the L and R sounds showed a larger pupillary response than the group with a weak ability to hear and distinguish them. It was also found that this pupillary response alone could estimate the ability of the participants who had been tested

in advance to hear and distinguish English, with extremely high accuracy. Participants of the experiment were not required to pay attention to the English words they were listening to, they just needed to let them play, but their ability to hear and distinguish could be estimated from their pupillary responses alone at that time. The researchers believe that in future, this finding could provide a new indicator for a simple estimate of the ability of a person to hear and distinguish English.

"Up to now, the evaluation of an individual's English listening ability has been carried out by actually performing a test in which they are made to listen to English words, and scoring whether the answers are correct or incorrect. However, we focused on the pupil, which is a biological signal, with the goal of extracting objective abilities that did not depend on the participants' responses. Although all research participants could identify that there were two different sounds being played, their pupillary responses differed according to their English ability. So, I believe that this indicates that there is a possibility that our pupillary responses are reflecting differences in unconscious language processing", the lead author Yuya Kinzuka, a PhD candidate, explained.

Professor Shigeki Nakauchi, who is the leader of the research team, explained, "It was difficult for even the person themselves to recognize their listening ability, which sometimes led to a decrease in training motivation. However, this research has made it

possible for not only the person themselves, but also a third party to visualize the listening ability of the learner objectively from the outside. I expect that in the future, objective measurement of the ability to hear and distinguish things will progress in various fields such as language and music."

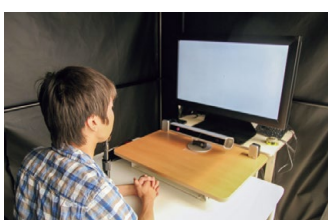
In addition, explains research member Professor Tetsuto Minami, "This discovery shows that not only simple sounds such as pure tones, but also higher-order factors such as differences in utterances are reflected in pupillary response. I expect that it will be useful as an English learning method if it is possible to improve the ability to hear and distinguish things by controlling pupil dilation from the outside."

The research team has suggested that a new method to estimate the ability to distinguish English sounds from pupillary response, based on these research results, could form the basis of a system for efficiently studying the ability of Japanese people to distinguish the challenging L and R sounds. Furthermore, it is known that learning difficulties caused by the distinguishing of sounds that do not exist in the native language also occur when for example an English speaker learns Chinese. Ultimately then, we hope that this will become a new indicator of estimating language ability that is not limited to Japanese. In addition, these research results are expected to be useful for language learning in patients with movement and speech disorders as there is no need for the participants to pay attention to or physically respond to English words.

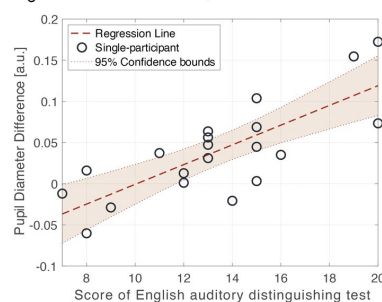
This study was conducted with the assistance of Grants-in-Aid for Scientific Research A(26240043) and Basic Research B(17H01807) from the Japan Society for the Promotion of Science, Ministry of education.

Reference

Kinzuka, Y., Minami, T., & Nakauchi, S. (2020). Pupil dilation reflects English /l/r/ discrimination ability for Japanese learners of English: a pilot study. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9, [www. DOI: 10.1038/s41598-020-65020-1](https://doi.org/10.1038/s41598-020-65020-1)



Scene of the pupillometry experiment



Correlation between pupil diameter and English auditory distinguishing ability

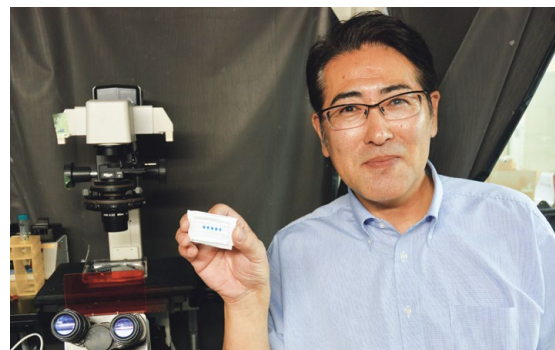
Microfluidic chip technology enables rapid multiplex diagnosis of plant viral diseases

Early detection of crop disease at the genetic level, and protection of food safety

By Takayuki Shibata



A research team composed of Professor Takayuki Shibata and his colleagues at the Department of Mechanical Engineering, Toyohashi University of Technology has applied a microfluidic chip technology to develop a multiplex genetic diagnostic device for the early detection and prevention of crop diseases. The group conducted a gene amplification experiment using four kinds of cucumber viruses on the palm-size diagnostic device, and successfully demonstrated that the rapid multiplex diagnosis can be performed within 1 hour of testing. This diagnostic device is a highly versatile technology that can be used for genetic diagnosis of disease or infection not only in crops, but also in humans, and across a wide range of industries such as the agriculture, livestock & fisheries industries, the food industry, and health/medical care.



In the context of increased food demand due to world population growth and decreased production due to abnormal weather, the “steady supply of safe and high quality agricultural, forest, and fishery products and food” has become a pressing issue common to all humankind in order to actualize a sustainable world (Sustainable Development Goals, SDGs). This research aims at developing a diagnostic technology to support the effective and stable production of high quality crops. By utilizing this technology, even regular agricultural producers without special knowledge or skills can easily and rapidly test for plant diseases and insect pests at their farms at the genetic level.

Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) * is one of the methods for detecting target nucleic acids (DNA or RNA). This approach can amplify the targeted gene at a constant temperature (60–65°C for 30 minutes to 1 hour) without expensive instrumentation for high-precision temperature control in PCR assays, which is the most commonly used genetic diagnosis technique. Therefore, the LAMP method has considerable potential for providing an easy-to-use diagnostic tool and enabling on-site diagnoses. However, with the conventional LAMP method, multiple-item viral diagnosis is complicated because of the amount of samples (target DNA or target RNA), reagents preparation, and gene amplification reactions required for the test. This process also requires specialized

knowledge and skills.

Here, the research team has solved this problem by employing microfluidic chip technology. We have developed a polydimethylsiloxane (PDMS)-based microfluidic device for the multiplex genetic diagnosis of plant diseases by using semiconductor manufacturing technology. The fabricated multiplex genetic diagnostic device consists of an array of five reaction chambers (3 μ L in volume) and a microchannel (200 μ m in width and 80 μ m in height) which together form a connected network. The device is approximately 45 mm \times 25 mm in size (less than 1/3 the size of a standard business card). As a sample, an RNA sample containing viral RNA target extracted from diseased cucumber leaves collected at a farm was used. In the operating procedure for the multiplex LAMP assay, a mixture of sample and reagents were autonomously dispensed into the multiple reaction chambers, with just one operation for introducing the mixture into the inlet port of the device. Then, the device was heated in hot water (63°C for 40 minutes to 1 hour), resulting in the specific amplification of targeted nucleic acids. As shown in the figure, two kinds of RNA viruses were successfully detected simultaneously on our diagnostic device. It should be noted that the device has the ability to simultaneously diagnose up to four different kinds of plant viral diseases.

The team now plans to develop a diagnostic device for enabling the simultaneous detection of a total of eight items, including four kinds of cucumber viral diseases and four kinds of insect pests, with the aim of putting the device to practical use. In principle, it is possible to freely customize the types of target viruses to meet individuals' specific needs on our diagnostic device. Therefore, looking ahead to the “life with corona” era, we will provide a platform for the rapid multiplex diagnosis of human infectious diseases (such as the novel coronavirus and the influenza viruses). We will also realize rapid multiplex allergen testing in food production (seven specified raw material items: wheat, buckwheat, peanut, egg, milk, shrimp, and crab) as a tool for improving food safety.

This research was partially supported by “Knowledge Hub Aichi”, Priority Research Project from Aichi Prefectural Government. Additionally, this work was conducted as a part of “the Cooperative Project for Innovative Research” (Microfluidic-based Genetic Diagnostic and Improving Technologies for Enhancing Food Safety), funded by Toyohashi University of Technology.

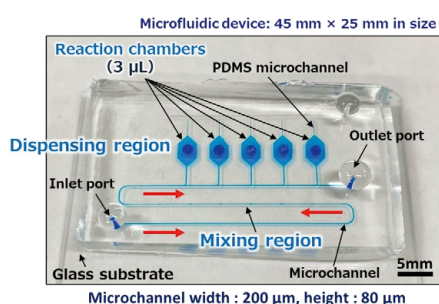
*LAMP is an isothermal gene amplification method developed by Eiken Chemical Co., Ltd. (<http://loopamp.eiken.co.jp/e/lamp/>). This is a technique to amplify a target DNA at a constant temperature (60 - 65°C) by using a set of four to six primers specially designed to recognize six to eight distinct regions on the target gene based on strand displacement reaction.

References

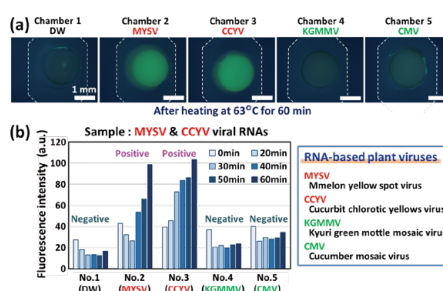
Daigo Natsuhara, Keisuke Takishita, Kisuken Tanaka, Azusa Kage, Ryoji Suzuki, Yuko Mizukami, Norikuni Saka, Moeto Nagai, and Takayuki Shibata, (2020) A Microfluidic Diagnostic Device Capable of Autonomous Sample Mixing and Dispensing for the Simultaneous Genetic Detection of Multiple Plant Viruses, *Micromachines*, 11(6), 540.

DOI: 10.3390/mi11060540.

• Industry-Academia Collaboration Bridging Accelerating TUT Research Seeds into Commercial Products



Photograph of multiplex genetic diagnostic device



The simultaneous detection of multiple RNA-based plant viruses (MYSV and CCYV) (Fluorescence intensity increased only in reaction chambers No.2 and No.3 corresponding to target viruses)

Why can our brains learn and memorize?

Comprehensive understanding of expression mechanism of long-term potentiation and long-term depression of hippocampal excitatory synaptic strength

By Kouji Harada



The long-term potentiation (LTP) and long-term depression (LTD) of the strength of hippocampal excitatory synapse involved in learning and memory formation in the brain have been separately explained, but the molecular mechanism that comprehensively explains them has not been elucidated. Assistant Professor Dr. Kouji Harada, from the Department of Computer Science and Engineering at Toyohashi University of Technology and Associate Professor Dr. Tomonari Sumi, from the Research Institute for Interdisciplinary Science at Okayama University focused on the competition of exocytosis and endocytosis of AMPA-type glutamate receptors dependent on the number of calcium ions that flow in the postsynapse of hippocampal excitatory neurons, and demonstrated a comprehensive understanding of the LTP and LTD by a large-scale mathematical model simulation.



N-methyl-D-aspartate (NMDA)-type glutamate receptor (NMDAR)-dependent long-term potentiation (LTP) and long-term depression (LTD) in synapses on hippocampal excitatory neurons are considered to be a molecular basis essential to form the neural circuits involved in learning and memory. In mammals, it has been proved that the main factor of the induction of LTP and LTD results in an increase and decrease in α -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic acid (AMPA)-type receptor (AMPA) at the postsynaptic membrane, depending on the calcium ion volume. However, the mechanism of the fluctuation of the AMPAR has not been elucidated. In addition, the true nature of the main pathway for AMPAR trafficking to the postsynaptic membrane remains up for debate as can be seen in the following studies.

Penn, et al. showed that the long-range lateral diffusion of AMPAR directed from areas other than the postsynaptic membrane (e.g. dendrite shaft) to the postsynaptic membrane is the main pathway for AMPAR trafficking for the LTP [1], and the long-range lateral diffusion pathway has been considered to be the most likely candidate as the main pathway. On the other hand, Wang et al. demonstrated the importance of the active transport of recycling endosomes containing AMPAR by molecular motor myosin Vb [2], and Wu et al. observed the exocytosis of the recycling endosomes containing AMPAR during the induction of LTP [3]. These studies embodied the elemental processes of AMPAR trafficking via the recycling endosome pathway. Currently, it is still unknown which pathway for AMPAR trafficking is the main one, but since all of these studies basically focus on the induction of LTP, there remains a need for an explanation of the pathway including the induction of LTD without inconsistency.

Assistant Professor Harada and Associated Professor Sumi modeled the following 4 processes of "active" transport of recycling endosomes containing AMPAR by molecular motor myosin Vb as a pathway for AMPAR trafficking to the postsynaptic membrane in order to comprehensively explain the LTP/LTD (Fig.1).

- AKAP150 signaling complex controlling the phosphorylation/dephosphorylation of subunits, GluA1 and GluA2, that constitute AMPAR (Upper left of Fig.1)
- Endocytosis of AMPAR to the cytoplasm by a calcium-binding protein, PICK1 (Upper right of Fig.1)
- Stationary active transport of recycling endosomes containing AMPAR toward postsynaptic membranes by myosin Vb

(Lower right of Fig.1)

- AMPAR uptake at around postsynaptic membranes by Syt1/7-dependent exocytosis (Lower left of Fig.1)

A simulation using a postsynaptic model based on these processes successfully reproduced the time course of the number of AMPAR corresponding to the induction of LTD and LTD observed in the experiment (Lower right of Fig. 2). In addition, the qualitative reproducibility of certain results demonstrated the validity of the model. These results include impaired LTP induction due to interference of Myosin Vb transport, impaired LTD induction due to decreased rate of reaction of PP2B-dependent dephosphorylation of AMPAR, impaired LTP and LTD inductions due to PICK1 expression level, and impaired LTP induction in Syt1 calcium-binding domain mutant.

The conclusions drawn from this simulation are as follows.

1. The LTP (or LTD) expression is caused by a phenomenon whereby the exocytosis triggered by the activation of Syt1/7 becomes more predominant (or inferior) than the endocytosis triggered by PICK1 activation, resulting in an increase (or decrease) in the number of AMPAR at the postsynaptic membrane.
2. The difference in calcium-dependent activation between the calcium sensors, PICK1 and Syt1, results in a difference in these calcium-binding constants.
3. Myosin Vb carries the recycling endosomes containing AMPAR toward around the postsynaptic membrane by stationary ATP driven transport not dependent on calcium concentration.
4. As a result, the recycling endosomes are waiting on cell membranes so that they can immediately address the next Syt1-dependent exocytosis, enabling the rapid LTP induction.
5. AMPARs taken up to around the postsynaptic membrane

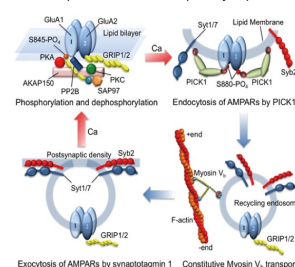


Fig.1 AMPAR transport system in postsynapse reproducing LTP/LTD of hippocampal excitatory neurons.

due to exocytosis are immediately reallocated to the synapse membrane by the lateral diffusion.

The neural network model mimicking the higher brain function can learn changes of synapse coupling coefficient, and Hebbian rule is known as a most basic learning rule. The Hebbian rule and its extended/modified versions are currently used as learning rules, which are known to be closely related to NMDAR-dependent LTP. The achievement of this study provides a molecular basis for the Hebbian rule or changes of synapse binding, which is expected to be a hint to understand the high brain function from the molecular level.

This study was supported by the Grants-in-Aid for Scientific Research of Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) (JP16K05657, JP18KK0151, JP16K00389).

References

- [1]Penn AC, Zhang CL, Georges F, Royer L, Breilhat C, Hosy E, et al. Hippocampal LTP and contextual learning require surface diffusion of AMPA receptors. *Nature*. Nature Publishing Group; 2017;549: 384-388. doi:10.1038/nature23658.
- [2]Wang Z, Edwards JG, Riley N, Provance DW, Karcher R, Li X-D, et al. Myosin Vb Mobilizes Recycling Endosomes and AMPA Receptors for Postsynaptic Plasticity. *Cell*. 2008;135: 535-548. doi:10.1016/j.cell.2008.09.057
- [3]Wu D, Bacaj T, Morishita W, Goswami D, Arendt KL, Xu W, et al. Postsynaptic synaptotagmins mediate AMPA receptor exocytosis during LTP. *Nature*. Nature Publishing Group; 2017;544: 316-321. doi:10.1038/nature21720.

Tomonari Sumi, Kouji Harada (2020). Mechanism underlying hippocampal long-term potentiation and depression based on competition between endocytosis and exocytosis of AMPA receptors. *Scientific Reports*, 10:14711, DOI: 10.1038/s41598-020-71528-3

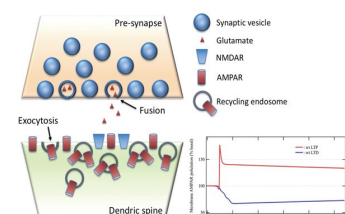


Fig.2 (Left) Schematic diagram of synapse in the ground state. (Lower right) Time course of the number of AMPAR at the postsynaptic membrane according to LTP and LTD stimulation.

Starting development of a wireless charging system for amusement park Go-karts

A future vehicle that will make children's dreams come true

By Takashi Ohira



In response to a request from the city of Toyohashi, the Future Vehicle City Research Center at Toyohashi University of Technology has started to develop a wireless re-charging system for the go-karts at Nonhoi Park, Toyohashi's Zoo & Botanical Park. Nonhoi Park operates a go-kart track for children. Just as for cars on public roads, converting the go-karts on the premises from conventional gasoline-powered vehicles to electric ones would help reduce their impact on the environment. In addition, electric go-karts are also more child-friendly as they emit no exhaust gas or engine noise. Furthermore, the electric go-karts are motor-driven, meaning that they also have higher starting acceleration performance. This makes them the perfect machine for a go-kart track with many curves. Not only children, but adults too will be fascinated by the experience of exciting, real-life go-karting that cannot be found in any digital game.



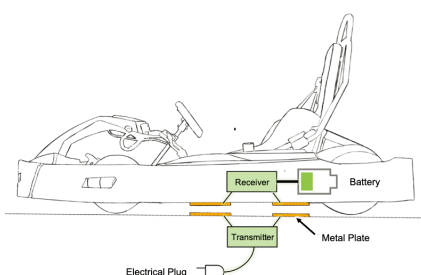
Typical electric go-karts have a drawback specific to the electric type: namely, the battery problem. Currently, the heavy batteries are removed from the go-kart by an attendant and carried to an electrical facility for charging. This led the research team to consider the challenge, "When the go-kart returns to the boarding area after traveling on the track, might it be possible to charge the batteries quickly before the next departure without removing them?" One early thought was to attach and remove a charging cable to and from the go-kart. However, the cables for quick charging are thick and heavy, making them too cumbersome for easy regular use. Therefore, we came up with the idea of wireless charging. If we could lay electrode plates on the road surface of the go-kart stopping area and wirelessly transmit power to the go-kart from there, there would be no need to handle heavy cables.

The laboratory has since commenced this research on wirelessly charging the go-karts in Nonhoi Park. The key to successful quick charging is the efficient transfer of large amounts of power. Focusing on hyperbolic geometry, a special kind of plane geometry born in Europe in the 19th century, as the key to high efficiency, the design and prototyping of a wireless quick charging system that

make full use of hyperbolic geometry is already underway. Such hi-tech go-karts could become a social implementation model for future electric vehicles. The future go-karts will make children's dreams come true with them as they take flight.

"We faced a major hurdle when thinking about how to efficiently deliver energy from the power source to the go-kart batteries wirelessly. We found that the wireless electrodes and batteries which we were trying to mount on the go-kart had a completely different high-frequency impedance (ratio of voltage to current). We fumbled our way through various different methods at first, thinking that there had to be some way for us to overcome this barrier. Finally, we realized that this problem came down to planar geometry, which deals with how to bring two points that are far apart from each other on the plane closer together. At the same time, our laboratory proposed an attempt to utilize hyperbolic geometry, a 19th century European discovery, to solve contemporary problems. (References [1] to [9]).

We call this attempt the 'analog renaissance'. In hyperbolic geometry, if we try to connect two points on a plane by the shortest distance, the path is not always a straight line. The key to solving the problem was the hyperbolic distance metric concept, advocated by French mathematician Henri Poincaré.



A mechanism for transferring energy from the road surface to a go-kart battery



The 19th century mathematician: Henri Poincaré (Drawing by Marimo Matsumoto, TUT 1st year graduate student from the Electrical and Electronic Information Engineering department)

New solutions are created by incorporating counter-intuitive geometric ideas into system design. We will showcase this new solution at Toyohashi Nonhoi Park," said Research Team Leader, Project Research Associate Minoru Mizutani, the research team leader. We are grateful that he could share such fascinating insights about this research.

The goal of the research team members is to implement the world's first future-vehicle technology in Toyohashi at Nonhoi Park. Their hope is that many people will be thrilled by the experience of this new go-kart, and that it will spread to amusement and theme parks not only in Japan but all around the world.

References

- [1] T. Ohira, "A radio engineer's voyage to double-century-old plane geometry," IEEE Microwave Magazine, vol.21, no.11, pp.60-67, Nov. 2020.
- [2] M. Mizutani and T. Ohira, "Design theory of a standing wave mitigator for a moving load along a transmission line," IEEE International Conference Radio Frequency Integration Technology, pp.214-216, Hiroshima, Sept. 2020.
- [3] A. Suzuki, S. Tsukamoto, and T. Ohira, "Diskwise spiral trajectory impedance matching network for frequency-diversity power transfer," IEEE International Conference Radio Frequency Integration Technology, pp.217-219, Hiroshima, Sept. 2020.
- [4] T. Ohira, "Poincaré length," IEEE Microwave Magazine, vol.21, no.3, pp.120-121, March 2020.
- [5] K. Yamada and T. Ohira, "Graphical representation of the power transfer efficiency of lumped-element circuits based on hyperbolic geometry," IEEE Transactions Circuits Systems II, vol. 64, no. 5, pp. 485 - 489, May 2017.
- [6] 大平 孝, "スミスチャートの歩き方," 電子情報通信学会誌, vol.103, no.7, pp.709-712, July 2020.
- [7] 大平 孝, "ポアンカレ視点で見るコイルとコンデンサ," CQ出版 RFワールド, no.50, pp.113-115, April 2020.
- [8] 大平 孝, "電界結合ワイヤレス電力伝送," CQ出版 MOTORエレクトロニクス, no.10, pp.93-102, April 2019.
- [9] 山田恭平, 非ユークリッド幾何学を用いたリアクタンス回路の特性の表現, 豊橋技術科学大学博士 学位論文 13904甲第783号, March 2018.

「眼」は口ほどに物を言い、英語を聞き分ける

ヒトの瞳孔反応から英語の「L」と「R」の聞き分け能力を推定する新たな手法

金塚 裕也

豊橋技術科学大学情報・知能工学系とエレクトロニクス先端融合研究所の研究チームは、日本人にとって難しいとされているLとRを含む英単語の聞き分け能力の違いが瞳孔(いわゆる黒目と呼ばれる部分)の反応に現れることを発見しました。瞳孔は眼に入る光の量を調整する役割を持っている一方で、ヒトの認知状態を反映して大きさが変化することが知られています。本研究は、「Light」と「Right」のような組み合わせの英単語を再生しながら、同時に瞳孔の大きさを計測する実験を実施し、眼からヒトの英語聞き分け能力を客観的に推定できることを明らかにしました。

社会のグローバル化に伴い、英語能力の向上は様々な分野において注目されています。しかしながら私たち日本人は、「Glass」と「Grass」のように日本語にもともと存在しない音であるLとRの発音や聞き分けが非常に苦手とされています。聞き分けができない単語は発音できないように、個人の英語聞き分け能力は効率的な英語学習において非常に重要な指標であるとされています。

「眼は口ほどに物を言う」ということわざのように、私たちの瞳孔は様々な認知の状態を反映することが知られています。そこで、研究チームは、音の違いに対して瞳孔が散大する瞳孔散大反応に着目して、LとRの聞き分け能力の推定を試みました。具体的には、連続して再生されるLを含む英単語(例えば「Light」)にときどきRを含む英単語(例えば「Right」)を混ぜ、その音に実験参加者の瞳孔がどのように反応するか調べました。

事前に行った英語聞き分け課題の点数に応じて実験参加者を二つの群に分け、瞳孔反応を比較したところ、LとRの聞き分け能力が高い群は低い群と比較して大きな瞳孔反応を示していることがわかりました。また、この瞳孔反応のみから事前に行った実験参加者の英語聞き分け能力を非常に高い精度で推定できることもわかりました。

実験参加者は聞いている英単語に注意を向ける必要はなく、単に聞き流せば良いのですが、そのときの瞳孔反応のみから聞き取り能力を推定できるわけです。この発見は、将来的にヒトの英語聞き分け能力を簡易的に推定する新たな指標になりうると研究者らは考えています。

「これまで個人の英語リスニング能力を評価するには実際に英単語を聞かせるテストを行い、それが正解か不正解か採点することによって行っていました。参加者の応答によらない客観的な能力を抽出することを目指し、生体信号の一つである瞳孔に着目しました。聞き流しているLとRを含む英単語は全ての参加者にとって容易に聞き分け可能であるにもかかわらず、能力に応じて瞳孔反応が異なったことから、私たちの瞳孔反応には無意識な言語処理の違いも反映されている可能性を示していると考えています。」と筆頭著者である博士後期課程1年の金塚裕也は説明します。

研究チームのリーダーである中内茂樹教授は「リスニング能力は本人でさえ自覚することが難しく、それがトレーニングのモチベーション低下につながることもさもありましたが、この研究によって本人はもちろん、第三者も学習者のリスニング能力を外から客観的に可視化することができるようになりました。今後は、語学や音楽などのさ

まざまな分野で聞き分け能力の客観計測が進むものと期待しています。」と述べました。また、研究メンバーである南哲人教授は「今回の発見は、瞳孔反応に純音のような単純な音だけでなく、発話音声の違いといった高次元要因が反映されることを示しています。瞳孔散大を外部からコントロールすることによって、聞き分け能力の向上につながるのであれば、英語学習手法としても有用であるのではないかと期待しています。」と説明します。

研究チームは、今回明らかにした研究成果から瞳孔反応から英語聞き分け能力を推定する新たな手法は、日本人が苦手とするLとRの聞き分けを効率よく学習できるシステムの構築につながる可能性を示しています。また、母国語に存在しない音の聞き分けによって生じる学習の障害は、英語話者が中国語を学習する際などにも起こることが知られており、最終的には日本語に限定しない言語能力を推定する新たな指標になればと考えています。加えて、本研究成果は英単語に注意を向けたり、参加者が応答したりする必要がないため、運動障害や発話障害を持つ患者の言語学習に役立っていくことが期待されます。

本研究は文部科学省・日本学術振興会科学研究費基盤A(26240043)及び基盤研究B(17H01807)の助成を受けて実施されました。

マイクロ流体チップテクノロジーを応用して植物ウイルス病の多項目同時迅速診断に成功

農作物の病害を遺伝子レベルで早期に発見し、食の安全・安心を守る

柴田 隆行

豊橋技術科学大学 機械工学系 柴田隆行教授らの研究グループは、マイクロ流体チップテクノロジーを応用し、農作物の病害の早期発見・予防を目的としたマルチプレックス遺伝子診断デバイスの開発を行いました。手のひらサイズの診断デバイス上で、キュウリの病害ウイルス4種類の遺伝子増幅実験を行い、検査時間1時間以内での多項目同時迅速診断が可能であることを実証しました。本診断デバイスは、農作物のウイルス病に限らず、ヒト感染症などを含む様々な分野(農業・畜産・水産業、食品産業、健康・医療など)での遺伝子診断に活用できる汎用性の高い技術です。

世界の人口増加による食料需要の増大や異常気象による生産減少を背景として、「安全・安心・高品質な農林水産物・食料の安定供給」は、持続可能な世界を実現するための人類共通の喫緊の課題(SDGs:Sustainable Development Goals(持続可能な開発目標))となっています。本研究では、品質のよい農作物を効率よく安定して生産するための支援技術として、専門知識やスキルをもたない一般の農業生産者でも、農場にて簡便・迅速に病害虫の検査を遺伝子レベルで行える診断技術の開発を目指しています。

遺伝子検出(増幅)技術の一つとして、LAMP(Loop-Mediated Isothermal Amplification)法*があります。本手法は、一定の温度(60~65℃、30分~1時間程度)で遺伝子増幅が行えることから、PCR検査(最も普及している遺伝子診断技術)のように高価な精密温度制御装置などを必要とせず現場(オンサイト)でも実施ができる簡易な検定法です。しかし、従来のLAMP法では、複数項目のウイルス診断を行うためには、検査対象の数だけ検体(標的DNAまたは標的RNA)・試薬の調整と遺伝子増幅反応を行う煩雑さがあり、その作業には専門的な知識やスキルが必要となります。

今回、研究チームでは、マイクロ流体チップテクノロジーを応用し、この問題を解決しました。開発したマルチプレックス遺伝子診断デバイス(反応容器3μL×5個)は、半導体製造技術を応用し、シリコン樹脂(PDMS)によって作製したサイズ45mm×25mm(名刺サイズの1/3以下)のマイクロ流体デバイス(流路幅200μm、流路高さ80μm)です。サンプルには、農場で採集したキュウリ罹病葉から抽出した検体(標的RNAを含む抽出液)を使用しました。検査手順は、診断デバイスの導入口から検体と試薬の混合液をマイクロ流路内に1回の作業で導入するだけで、複数の反応容器内に検体・試薬が自律的に均等に分注される仕組みとなっています。その後、デバイスを湯中に加熱(63℃、40分~1時間程度)することで、標的となるウイルス遺伝子の特異的な増幅が起こります。図に示す遺伝子診断結果の一例では、2種類のウイルスを1つの診断デバイス上で同時に検出することに成功しています。なお、本診断デバイスでは、計4種類の植物ウイルス病の同時診断が可能になっています。

今後は、本診断デバイスの実用化を目指して、キュウリの病害ウイルス4種類に加えて、害虫4種類の計8項目

の同時診断が行えるデバイスの開発を行います。また、原理上、本診断デバイスでは、ニーズに応じて検査対象のウイルスの種類を自由自在にカスタマイズすることが可能です。このため、ウィズコロナ時代を見据えて、新型コロナウイルスおよびインフルエンザウイルスなどの複数種類のウイルス感染症の多項目同時迅速診断の実現を目指します。さらに、食物アレルギー物質(特定原材料7品目:小麦、そば、落花生、卵、牛乳、えび、かに)の多項目同時迅速診断へと応用展開し、食の安全・安心に資する技術の提供を目指します。

本研究は、「知の拠点あいち重点研究プロジェクトⅢ期」(農業ビッグデータ活用によるロボティックグリーンハウスの実現 / 代表:三浦 純 教授)の一環として行いました。また、豊橋技術科学大学「イノベーション協働研究プロジェクト」(マイクロ流体チップテクノロジーで食の安全を診る・操る / 代表:柴田 隆行 教授)の支援を受けて実施しました。

*LAMP法は、栄研化学株式会社(<http://www.loopamp.eiken.co.jp/lamp/>)が開発した等温遺伝子増幅法です。標的となる遺伝子の6~8つの領域に対して4~6種類のプライマーを設定し、鎖置換反応を利用して一定温度(60~65℃)で遺伝子を増幅する技術です。

なぜ私たちの脳は学習や記憶をすることができるのか

海馬興奮性シナプスにおける長期増強/長期抑制発現機構の統一的理解

原田 耕治

これまで、脳の学習や記憶の形成に関わる海馬興奮性シナプスの長期増強(LTP)と長期抑制(LTD)はそれぞれ個別に説明が試みられてきましたが、それらを統一的に説明する分子機構は未解明でした。豊橋技術科学大学情報・知能工学系 原田耕治助教と岡山大学異分野基礎科学研究所 墨智成准教授は、海馬興奮性ニューロンの後シナプスに流入するカルシウムイオンの多寡に依存したAMPA型グルタミン酸受容体のエキソサイトーシスとエンドサイトーシスの競合に注目することで、LTPおよびLTDを統一的に理解できることを大規模数値モデルシミュレーションにより実証しました。

海馬興奮性ニューロンのシナプスにおけるNMDA型グルタミン酸受容体(NMDAR)依存長期増強(LTP)および長期抑制(LTD)は、学習や記憶に関わる神経回路形成に不可欠な分子基盤であると考えられています。哺乳類においては、LTPおよびLTD誘導の主要な要因は、カルシウムイオン量に応じたシナプス後膜でのAMPA型グルタミン酸受容体(AMPA)の増加および減少に帰着することが確かめられています。しかしながら、その増減の機序は未だに解明されていません。さらに、シナプス後膜へのAMPA輸送経路に関しても、主要な経路を巡る以下の論争があります。

Pennらは、シナプス後膜以外の領域(例えば樹状突起シャフト)からシナプス後膜へ向かうAMPAの長距離側方拡散が、LTPにおける主要なAMPA供給経路である事を示し[1]、近年では長距離側方拡散経路が最も有力な候補として考えられる様になりました。ところが一方、WangらはミオシンVb分子モーターによるAMPA含有再循環エンドソームの能動的輸送の重要性を示し[2]、またWuらは、LTP発現中にAMPA含有再循環エンドソームのエキソサイトーシスが起きることを観測しました[3]。これらの研究により、再循環エンドソーム経路におけるAMPA供給素過程がより具体化されました。現在、どちらのAMPA輸送経路が主経路であるのかまだ確定していませんが、この主経路論争は基本的にLTP誘導に関するものであるため、LTD誘導を含めて矛盾無く説明できることが望ましいと考えられてきました。

原田助教と墨准教授はLTP/LTDを統一的に説明するため、シナプス後膜へのAMPA供給経路として、ミオシンVb分子モーターによるAMPA含有再循環エンドソームの「能動的」輸送を以下の4つのプロセスとしてモデル化しました(図1)。

- AMPAを構成するサブユニットGluA1とGluA2のリン酸化/脱リン酸化を制御するAKAP150シグナル伝達複合体(図1左上)
- カルシウム結合タンパク質PICK1によるAMPAの細胞質へのエンドサイトーシス(図1右上)
- AMPA含有再循環エンドソームのミオシンVbによるシナプス後膜方向への定常的能動輸送(図1右下)
- Syt1/7によるエキソサイトーシスによるAMPAのシナプス後膜周辺への取り込み(図1左下)

これらに基づく後シナプスモデルを用いたシミュレーションを実行し、実験で観測されているLTPおよびLTD誘導に対応するAMPA数の時間変化を再現することに成功しました(図2右下)。加えて、ミオシンVb輸送の阻害によるLTP誘導の減少、PP2BによるAMPAの脱リン酸化反応率の低下によるLTD誘導の減少、PICK1発現量の減少によるLTPおよびLTD誘導の減少、並びにSyt1カルシウム結合ドメイン変異体におけるLTP誘導の減少等、報告されている観測結果を定性的に再現できることを示し、モデルの妥当性を実証しました。本シミュレーションから導かれた結論は以下の通りです。

1. LTP(LTD)の発現は、Syt1/7活性化によるエキソサイトーシ

スがPICK1活性化によるエンドサイトーシスより優位(劣位)になり、シナプス後膜上AMPA数が増加(減少)することに起因する。

2. カルシウムセンサPICK1およびSyt1のカルシウム依存活性化の差は、これらのカルシウム結合定数の違いに帰着する。
3. ミオシンVbはカルシウム濃度に依存しない定常的なATP駆動輸送により、AMPA含有再循環エンドソームをシナプス後膜周辺方向へ運搬している。
4. その結果として、次のSyt1依存エキソサイトーシスに即時対応できるように、再循環エンドソームは細胞膜上で待機しており、迅速なLTP誘導を可能にしている。
5. エキソサイトーシスによってシナプス後膜周辺へ取り込まれたAMPAは、側方拡散によりシナプス膜へ即座に再配置する。

脳の高次機能を模倣したニューラルネットワークモデルでは、シナプス結合係数の変化が学習に対応しており、最も基本的な学習則としてヘブ則が知られています。ヘブ則あるいはその拡張/変形したものが、現在でも学習則として用いられており、NMDAR依存LTPと密接に関係することが知られています。本研究成果はヘブ則あるいはシナプス結合の変化に対する分子基盤を与えており、分子レベルから脳の高次機能を理解する手がかりとなることが期待されます。

本研究は、独立行政法人日本学術振興会(JSPS)科学研究費補助金(JP16K05657、JP18KK0151、JP16K00389)の助成を受け実施しました。

遊園地ゴーカートワイヤレス充電システムの開発をスタート

子供たちの夢を乗せて走る未来ビークル

大平 孝

豊橋技術科学大学未来ビークルシティリサーチセンターは豊橋市からの要望を受け、豊橋総合動植物公園(のんほいパーク)内のゴーカートワイヤレス充電システムの開発をスタートしました。豊橋市動植物公園ののんほいパークでは子供たちのためのゴーカートコースを運営しています。公道を走るクルマと同様に敷地内ゴーカートも電動化が望まれています。電動ゴーカートは従来のガソリン式ゴーカートに比べて排気ガスやエンジン騒音を出さないという点で子供たちに優しくまた周囲環境の観点でも優れています。さらに電動ゴーカートはモーター駆動であるためガソリンカートに比べ発達加速性能が優れています。特にカーブが多いゴーカートコースにはぴったりのマシンです。デジタルゲームでは体験できないリアルでエキサイティングなゴーカート走行に子供のみならず大人も夢中になるでしょう。

一般的な電動ゴーカートは電動式ならではの難点すなわちバッテリー問題があります。現状では重いバッテリーを係の方がゴーカートから取り外して電気設備のある場所まで運んで充電しています。そこで研究チームは、ゴーカートがコース走行し乗降場へ戻ってきたときバッテリーを取り外すことなく次の発車までに急速満充電できないだろうか、と考えました。すぐ思いつく案は充電ケーブルをゴーカートに着脱することです。しかし急速充電用のケーブルは太くて重いため毎回の取り回しが大変です。そこで考えた案がワイヤレス充電です。停車エリアの路面に電極板を敷設してそこからワイヤレスでゴーカートへ電力を送ることができれば重いケーブルの扱いが不要となります。

研究室ではワイヤレスでののんほいパークのゴーカート充電の研究をスタートしました。急速充電を成功させる秘訣は大きな電力を効率よく伝えるしくみです。高効率化の鍵として19世紀にヨーロッパで生まれた双曲幾何学(特殊な平面幾何学)に着眼しました。双曲幾何学をフ

ル活用してワイヤレス急速充電システムの設計と試作を進めています。先進技術を搭載したゴーカートは未来の電気自動車の先行的社会実装モデルとなります。未来のゴーカートが子供たちの夢を乗せて走り出すことでしょ

う。「電源からワイヤレスでゴーカート搭載バッテリーへ効率よくエネルギーを届けるしくみを考える中で大きな壁にぶつかりました。それはゴーカートに搭載しようとしているワイヤレス電極とバッテリーでは高周波インピーダンス(電圧と電流の比)が全く異なるという壁です。この壁をなんとか克服できないかと最初はいろいろな方法を手探りしている状態でした。

よく考えているうちに、この問題は平面上で互いに離れた位置にある2点を如何に近づけるかという平面幾何学の問題に帰着するのではないかということに気づきました。折しも研究室では19世紀に欧州で生まれた「双曲

幾何学」を現代の課題解決に活かそうという試みが提案されていました:文献[1]-[9]

これをアナログルネサンスと呼んでいます。双曲幾何の世界では、平面上にある2点間を最短で結ぼうとすると、不思議なことにその経路は必ずしも直線になるとは限りません。フランスの数学者アンリ・ポアンカレが提唱した双曲の距離計量という概念が問題解決の鍵となりました。直感と異なる幾何の発想をシステム設計に取り入れることで新しいソリューションが生まれます。私たちは豊橋ののんほいパークでこの新ソリューションを社会実装してみせます。」と、研究チームリーダーの水谷豊特任助手は開発秘話を語ります。

この豊橋発世界初の未来ビークル技術をのんほいパークで社会実装し、研究チームは、このゴーカートのみならずご覧頂いて全国の遊園地そして世界中のテーマパークへ展開していきたいと考えています。

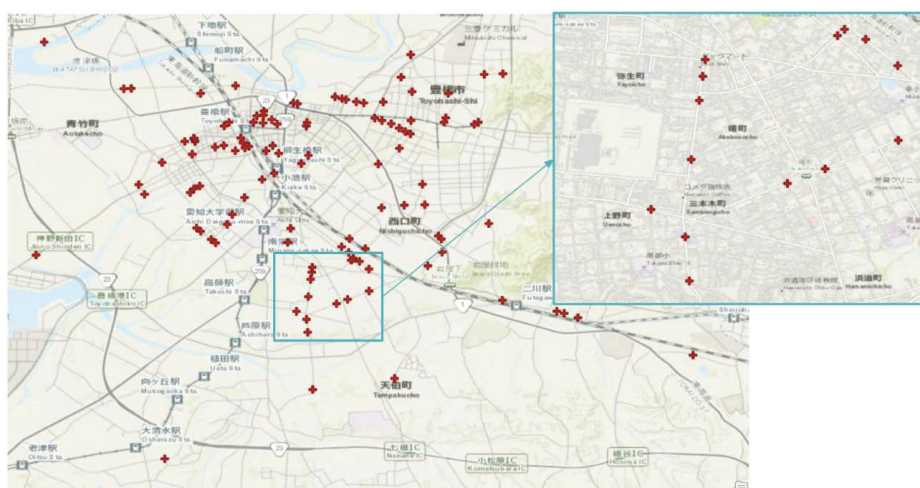


Advanced vehicle probe data collection devices installed in Toyohashi City official vehicles identify potential pedestrian accident hazard spots

The Advanced Vehicle Probe Data Collection System ("a-probe") accumulates real-time collision prevention warning data for pedestrians and vehicles in the cloud, along with the location and time of the driving vehicle, as well as speed sign data and other information captured from camera images. By analyzing this data and combining it with various other factors such as the number of lanes on the road, intersections, residential conditions around the road, and traffic volume, we can efficiently and accurately identify potential roadway hazard spots.

The installation of this "a-probe" on 50 Toyohashi City official vehicles was completed in March 2020, and the data has been accumulating daily since then.

The data analysis technology developed by Associate Professor Kojiro Matsuo at TUT has made it possible to not only identify pedestrian accident risk points, but also to create detailed maps of road speed restrictions. The City of Toyohashi will use this data analysis-based road-traffic safety management system to promote a safer city with the goal of zero traffic accidents. J21 Corporation based in Toyohashi Japan, the partner in charge of developing this "a-probe", is leading the commercialization of the "Traffic Safety Management System with Advanced Probe Data" model.



Risk points for pedestrian accidents in Toyohashi City, estimated by a safety performance function (statistical model) based on pedestrian collision warning data. (Background Map: World Topographic Map: Esri, HERE, Garmin, Intermap, INCREMENT P, GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), © OpenStreetMap contributors, GIS User Community)

Reference

Industry-Academia Collaboration Bridging Accelerating TUT Research Seeds into Commercial Products

<https://www.tut.ac.jp/english/newsletter/contents/2019/19/pickup/pickup.html#p01>

豊橋市の公用車に搭載された先進車両プローブデータ収集デバイスが、潜在的な歩行者事故の危険箇所を特定する

先進車両プローブデータ収集装置("a-probe")は、歩行者や車両との衝突事故防止警報データを、運転中の車両の位置や時刻情報、さらにはカメラ映像から得た速度標識データや他の情報も合わせて、リアルタイムにクラウドに蓄積します。このデータを、道路の車線数や交差点、道路周辺の住宅状況、交通量などの様々な条件と組み合わせて分析することで、道路の潜在的な危険箇所を、効率的かつ正確に特定できます。

豊橋市の公用車50台へ、このa-probeの設置が2020年3月に完了し、その後毎日データが蓄積されています。

TUT松尾幸二郎准教授のデータ分析技術は、歩行者事故の危険箇所の推定を可能とすることに加えて、細かな道路にまで対応した速度規制マップの生成に成功するなどの成果を上げています。豊橋市は、この成果を活用した道路交通安全管理システムを行政に利用して、交通事故のない安全な街づくりを推進していきます。このa-probeの開発を担当するジャパントゥエンティワン株式会社(本社 豊橋)は、「先進プローブデータ活用型交通安全管理システム」モデルのビジネス事業化をリードしています。



■ Toyohashi University of Technology

The Toyohashi University of Technology (TUT) is one of Japan's most innovative and dynamic science and technology based academic institutes. TUT Research is published to update readers on research at the university.

1-1 Hibarigaoka, Tempaku, Toyohashi, Aichi, 441-8580, JAPAN

Inquiries: Committee for Public Relations

E-mail: press@office.tut.ac.jp

Website: <https://www.tut.ac.jp/english/>

■ Editorial Committee

Hideyuki Uehara, Committee Chairman

Department of Electrical and Electronic Information Engineering

Takaaki Takashima, Chief Editor

Institute for Global Network Innovation in Technology Education

Saburo Tanaka Research Administration Center

Ryoji Inada Department of Electrical and Electronic Information Engineering

Kojiro Matsuo Department of Architecture and Civil Engineering

Eugene Ryan Institute for Global Network Innovation in Technology Education

Yoko Okubo Research Administration Center

Tetsuya Oishi International Affairs Division

Tomoko Kawai International Affairs Division