

目次

- ・ series 研究最前線 (3) 燃料電池電極開発を加速するデジタルツインの構築
 ……岸本将史 (pp.2-14)
- ・ The car which I love (14) LANCIA Delta HF Integrale 16V 車齢32歳
 ……川那辺 洋 (pp.15-20)
- ・ 瓢箪山稻荷神社 ……藤川卓爾 (pp.21-24)

京都の初夏を彩る葵祭の行列行事「路頭の儀」が4年ぶりに再開されました。天候不良のため一日順延された5月16日午前10時半ごろ、平安時代の装束を身にまとった約500人の行列が京都御所を出発し、お昼ごろに下鴨神社に到着しました。下の画像は吉田キャンパスに近い出町の葵橋と下鴨神社で撮影したものです。斎王代は御簾に隠れていたと記憶していましたが、今回はお姿を拝見することができました。新緑をバックにした行列は、まさに日本の色の美術館でした！

撮影：編集人(松原)



先導する警察官に続く騎馬列

あふれんばかりのフジで彩られた牛車



色鮮やかな風流傘(ふうりゅうがさ)

下鴨神社参道の緑



ヒロインの斎王代は十二単衣をまとい、フタバアオイを頭につけておられます

下鴨神社に到着した行列

series 研究最前線 (3)

燃料電池電極開発を加速するデジタルツインの構築



岸本将史 (H20/2008卒)

「機械学習的手法を燃料電池電極の設計開発にうまく利用できないか？」

1. はじめに

ここ数年の間で巷を騒がせている話題と言えば、言わずもがなのコロナと、もうひとつは機械学習ではないでしょうか。気が付くと身の回りの家電製品などにも「AI」というワードが付いたものが増えてきました[1]。昨年末にはChat GPT[2]が現れ、教育界も対応を迫られています。また翻訳の高精度化にも貢献しているようで、英語論文を読む際にウェブ上のサービスを使っている学生もいるようです[3]。例を挙げ始めるときりがありませんが、これからの社会において機械学習技術が極めて重要な役割を果たすことは、私がここで強調するまでもなく明らかでしょう。

そのような流れの中で、機械学習技術を自分の研究に取り入れるというのも、必然だったのかもしれませんが。数年前にとある先生に「君らの世代は機械学習を研究に少しでもいいから使っていないと、世の中の流れについていけないよ」という旨のことを言われたことは、危機感を覚えるきっかけにもなりました。また研究の話をしていると、「そこは機械学習が使えたりしないの？(まだしてないの?)」のような提案を受けることも増えました。このように、いくぶん外的要因が大きかったこともありますが、自分の研究に機械学習的要素を取り入れ、3年ほどが経ちました。見切り発車で始めた研究ではありましたが、もともとの研究テーマが比較的機械学習技術と相性が良かったことと、優秀な学生たちが頑張ってくれたことで、ある程度まとまった内容をご紹介できるくらいにはなりました。一部は論文化もできていない出たてほやほやの内容で、十分に詰め切れていないものもありますが、ご容赦ください。

2. 固体酸化物形燃料電池について

まず機械学習の話をする前に、私の研究の内容について簡単に説明します。研

究対象は燃料電池の一種である固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell : SOFC）というもので、高効率な発電システムとしてすでに実用化段階にあります。私の自宅にも家庭用燃料電池システムであるエネファーム（SOFCタイプ）を2021年に導入しました。都市ガスを用いて最大700Wの発電と、排熱から温水を作ってくれています。また、近年はさらなる普及拡大に向けて、店舗やオフィス、集合住宅用などの大型システムの開発が本格化しています。発電容量の増大とともに、燃料電池セルの性能や信頼性に対する要求がさらに高まっています。

SOFCはイオン伝導性を有するセラミックス電解質膜と、その両側に形成された多孔質電極から構成されます(図1(a))。一枚のセルは厚みが数百 μm 程度です。SOFCの電極には多孔質材料が用いられ、その内部では電子、イオン、ガスの輸送現象が生じるとともに、それらの間の電気化学反応が生じています(図1(b))。具体的には、金属相中で電子、セラミックス電解質相中でイオン、空隙相中でガスが輸送され、さらにその三相が接する三相界面(Triple-Phase Boundary: TPB)で電気化学反応が生じます。これらの輸送・反応現象は電極多孔質構造に大きな影響を受けるため、SOFCの性能向上には電極構造の最適化が必要とされてきました。

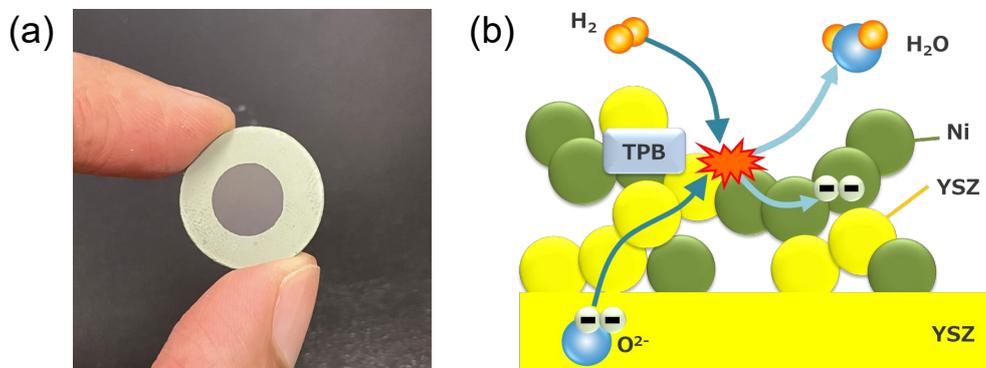


図1 (a) 研究室で作製したSOFCボタンセルの写真。内製できる研究室はわりと珍しいかもしれません。(b) SOFC燃料極内における輸送・反応連成現象の模式図。

SOFCの電極はサブミクロンスケールの粒子から構成される金属—セラミクス混合多孔質体であり、高温の焼成過程を経て形成されるためその構造は複雑です。従来は電子顕微鏡観察によって得られる断面画像からその構造を推測するほかなく、構造の改良は経験に基づいた試行錯誤に頼っていました。しかし3次元構造観察技術の発達に伴い、サブミクロンスケールの電極構造を詳細に観察することが2010年頃から可能となりました。イオンビーム加工と電子顕微鏡観察を組み合

わせたFIB-SEM（Focused Ion Beam Scanning Electron Microscope）[4-6]や、X線断層撮影法（X線CT）[7, 8]がその代表例です。FIB-SEMは私が修士1年生の時に京都大学に導入され、それ以来私の研究を支え続けてくれている相棒でもあります[9]。取得された3次元構造から、電極性能と相関の深い構造パラメータを定量化する技術もすでに整備されています[10]。たとえば多孔質内における輸送現象に影響を及ぼす屈曲度ファクタや、電気化学反応の場となる三相界面の密度は、SOFCならではの構造パラメータと言えます。また、実電極構造を計算系とした輸送・反応連成数値シミュレーション技術も開発され、電極性能の予測や電極内部における物理量分布の可視化も可能になりました[11-13]。このような3次元の構造観察を発端とした研究においては、機械工学者の果たす役割が大きく、従来材料化学や電気化学をベースとした研究が多かったSOFC研究において、機械工学者がその存在感を増すきっかけとなったと思っています。

3. 電極構造最適化に向けた取り組み

電極多孔質構造の3次元観察が可能になり、それをもとにした様々な解析技術が整備されたことにより、構造と性能の相関に関する知見が多く蓄積されてきました。また、図2に示すような「設計→作製→解析→評価→再設計」というループを回すことが可能になり、輸送・反応現象が円滑に進行する理想的な電極構造が実現されると大きな期待が寄せられました。

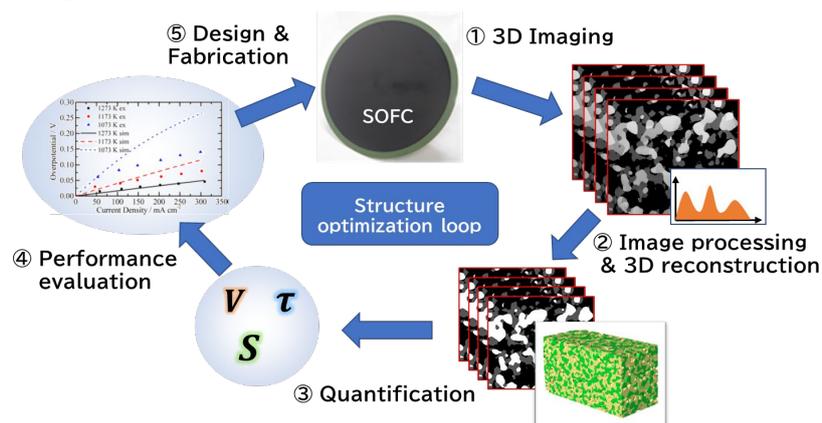


図2 SOFC電極構造最適化に向けたアプローチの模式図。

しかし、残念なことに「理想の電極」というものはいまだ実現されていません。その一因は、図2の構造最適化ループにおけるプロセスが、どれをとっても作業負荷や計算負荷が極めて高く、ループが円滑に回っていないからです。例えば電

極の3次元観察を行うためには、精緻な試料作製と長いプロセスタイム（十時間から数十時間）が必要とされます。また、得られた電子顕微鏡画像を解析可能なデータ型にするためには、領域分け（塗り分け）の作業が必要であり、そこには人間の目による判断も介在します。集中力も要する作業であるため、私が学生の頃は、誰もいない夜中の研究室で何時間もPCに向かってペンタブで塗り分けをし続けるという苦行をこなしていました。そのように時間と手間をかけて得られた構造をもとにして、構造パラメータの定量化や電極性能予測を行うわけですが、そこで行う数値シミュレーションも計算負荷が高いため、様々な構造や運転条件について網羅的に計算をすることは現実的ではありません。

4. 機械学習手法の適用

前置きがだいぶ長くなりましたが、上述のような構造最適化ループにおける様々なボトルネックに対して、機械学習的手法を適用して解決を図ろうというのが本稿でご紹介する内容です。これから例を述べていくように、幸いにも機械学習手法が得意とする部分が多く、色々とやってみる余地がありました。

最初に考えられるのは、最も手間と時間がかかっていた電子顕微鏡画像の領域分け (segmentation) プロセスに対する適用です。機械学習が話題になる以前は、プレゼンなどの中で「夜中に一心不乱に何百枚も塗り分けするんですよ」という話をするとわりと受けが良かったのですが、最近は「それ、機械学習でどうにかなるんじゃないの？（まだやってないの？）」と突っ込まれるだけになったというのもあります。画像の領域分け技術は機械学習技術の中でもすでに開発が進んでおり、semantic segmentationというものがあります。正式な和訳が無いようなので、私なりに意識すると、「意味に基づいた領域分け」といったところでしょうか。画像中のピクセルの輝度値や色だけで領域分けするのではなく、周囲の情報も見ながらそのピクセルがどのような意味を持つのか（どのような要素に属するのか）を判断する技術です。自動車の自動運転において、カメラから得られる画像から周囲を認識・判断するためにも利用が始まっています[14]。

試しに研究で普段扱っているFIB-SEM画像に適用してみると、画像がグレースケールでかつ領域（相）の数が3つしかないため、意外と簡単に領域分けをすることができました（図3）。細かいことを見ていけばまだ改良の余地はありますが、すでに画像処理ソフトウェアに機能として実装され始めているほど研究・開

発が進んでいたため、今からやっても旨味はあまりないかなと感じました。SOFCの分野でもすでに適用例があります[15, 16]。



図3 Semantic segmentationを用いたFIB-SEM画像の領域分け。(a) 元の電子顕微鏡画像（グレースケール）、(b) 手作業を含む従来手法による領域分け画像、(c) semantic segmentationによる領域分け画像。白：金属Ni相、灰色：電解質YSZ相、黒：空隙相（樹脂で包埋）。

また、semantic segmentation技術は確かに有効な技術ですが、見方によっては対症療法的とも言えます。図2の構造最適化ループを円滑に回していくためには、そもそものセル作製の所からすべてをモデル化し、ループ全体をまるごとバーチャル空間で回すというのが理想形です。これは電極設計・製作のデジタルツインと捉えることもできるでしょう。最初から頭にあっただけではないのですが、色々な検討をしていく中で、最終目標として設定するのはこの「デジタルツインの構築」なのかなと、最近気づいたところです。

電極作製・評価のデジタルツインを構築するために必要な要素技術としては、次のようなものが挙げられます。(i) 出発材料の粒子径や混合比と言った設計パラメータをもとにして、電極多孔質構造をバーチャルに作り出すモデル。(ii) 多孔質構造から構造パラメータを迅速に定量化するモデル。(iii) 構造パラメータから電極性能を迅速に予測するモデル。以下では、この3つについて開発を行った事例を簡単ではありますが紹介します。

5. デジタルツインの構築に向けた要素技術

5.1. 敵対的生成ネットワーク（GAN）を用いた構造生成

敵対的生成ネットワーク（Generative Adversarial Network : GAN）[17]とは、教師なし学習に分類される機械学習技術であり、疑似データを生成するネットワーク（生成器、generator）と、データの真贋を判別するネットワーク（識別器、discriminator）の2つから構成されます。例えば人間の顔の画像を例にとると、図

4 (a) に模式的に示すように、生成器はもっともらしい顔の画像を生成しようとする一方で、識別器はその識別制度を上げることで欺かれまいとします。訓練においては2つのネットワークを競い合わせながら高度化していくため、「敵対的」と表現されます。このGANのアイデアについては、機械学習の分野でも著名な研究者であるYann LeCun氏が、「機械学習においてここ10年で最も面白いアイデア (*"This, and the variations that are now being proposed is the most interesting idea in the last 10 years in ML, in my opinion."*) と評したとされています。

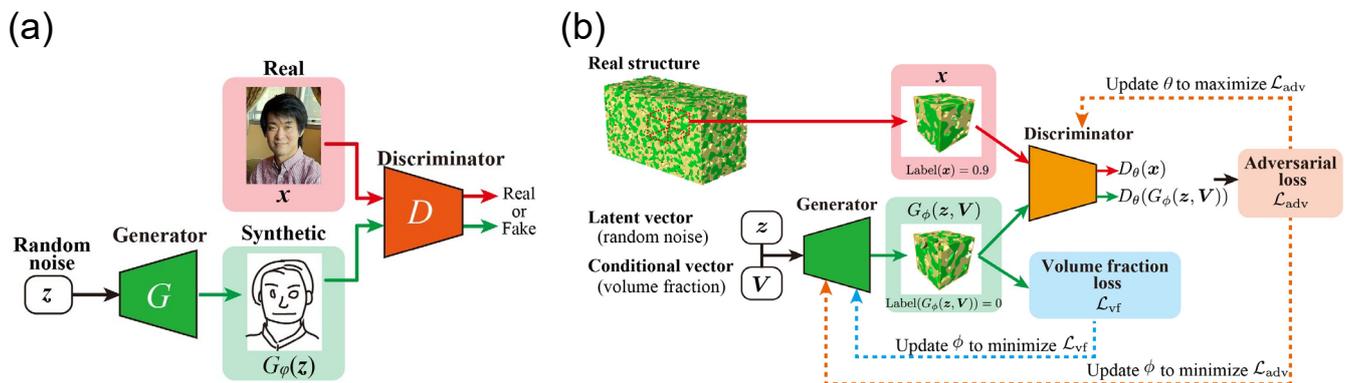


図4 (a) 顔画像生成を行うGANの模式図。(b) 組成比制御をしながら電極3次元構造生成を行う条件付きGANの模式図。

このGANを電極模擬構造生成に用いることを考えるわけですが、単純なGANは、訓練の際に与えられた構造データと「同じ」特徴を持った構造データしか生成することができないため、融通が利きません。必要なのは、生成器に設計パラメータ（SOFC電極の場合は粒子径や組成比）を与えて、それを満たすような模擬構造を生成する能力です。人間の顔画像生成の例で言い換えると、なんでもいいから人の顔画像を生成すれば良いわけではなくて、年齢や性別などの指定された情報をもとに、それらを満たすような顔画像を生成したいということです。

そこで、通常のGANモデルにひと工夫を加えて、条件付きGANモデルを開発しました（図4 (b)）。通常のGANモデル中の生成器には、乱数で構成されるベクトル（潜在ベクトル）が入力されますが、そこに生成したい構造を制御する設計変数（ここではまず組成比）で構成されるベクトル（条件ベクトル）を付け加えます。さらに、生成された構造について組成比を定量化し、指定した値との誤差を求めます。その誤差を最小化するように生成器を追加訓練するというを行いました。これにより生成器が、入力された設計変数を満たすような構造を生成す

ることが期待されます。

上記のような生成器の追加訓練をした上で、生成器に出力させた模擬電極多孔質データの例を図5に示します。3パターンの組成比について、実構造と模擬構造の比較をしていますが、見た目ではどちらが本物か見分けはつきません。また、ここでは詳細は省略しますが、指定した組成比やその他の構造パラメータについても、実構造と同等の特徴を持った模擬構造を生成することに成功しました。

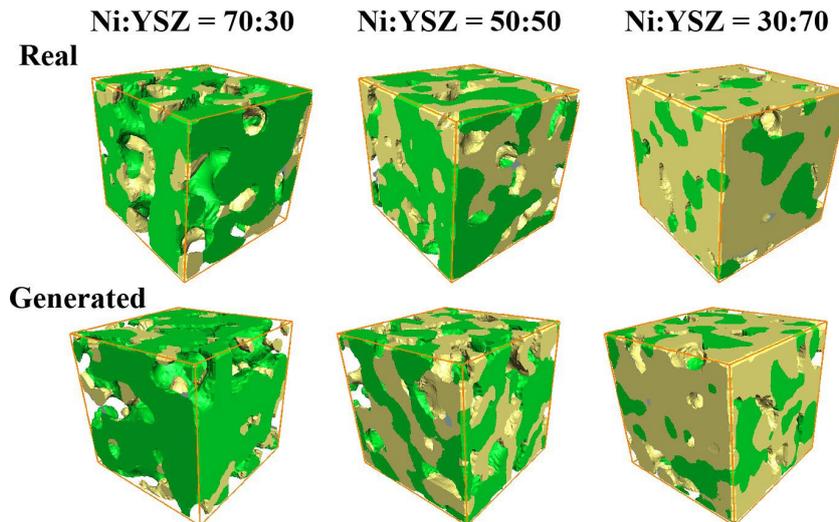


図5 SOFC燃料極の実構造と模擬構造の比較。緑：金属Ni相、黄：電解質YSZ相。

このように組成を制御しながら模擬電極構造を生成するGANモデルが構築できたわけですが、デジタルツインの要素としてはまだ十分ではありません。電極作製の際の設計変数には、もうひとつ粒子径という重要なものがあります。今は組成比と粒子径の両方を制御できるようなGANモデルの開発に取り組んでいます。

5.2. 畳み込みニューラルネットワークを用いた構造定量化

次は多孔質構造の定量化についてです。電極構造を特徴づけ、かつ電極の性能と相関のある構造パラメータとしては、体積分率、相の連結性、屈曲度ファクタ、表面積密度、三相界面密度などが挙げられます。体積分率や表面積密度については定量化のアルゴリズムに確立されたものがあるため大きな問題にはなりませんが、構造の複雑さを表す屈曲度ファクタについては、多孔質中において拡散シミュレーション[10]を行う必要があるため、計算負荷が高いという問題があります。そのため、様々な構造に対して迅速かつ網羅的に定量化を行うことができません。

構造パラメータの定量化というプロセスを機械学習の観点から見ると、データからの特徴量抽出と捉えることができます。また、画像ベースのデータからの特徴量抽出には、畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network : CNN）という技術が発達しています。手書き文字の認識などに広く用いられているものです。CNNを構造の定量化に用いた場合の模式図を図6 (a) に示します。構造データに対して、畳み込み処理とプーリング処理（図6 (b)）を繰り返し適用することで次元を圧縮していき、最終的にスカラー量に落とし込みます。多孔質構造の評価にもおいても、透過率や弾性率の推定に用いられた例があります[18, 19]

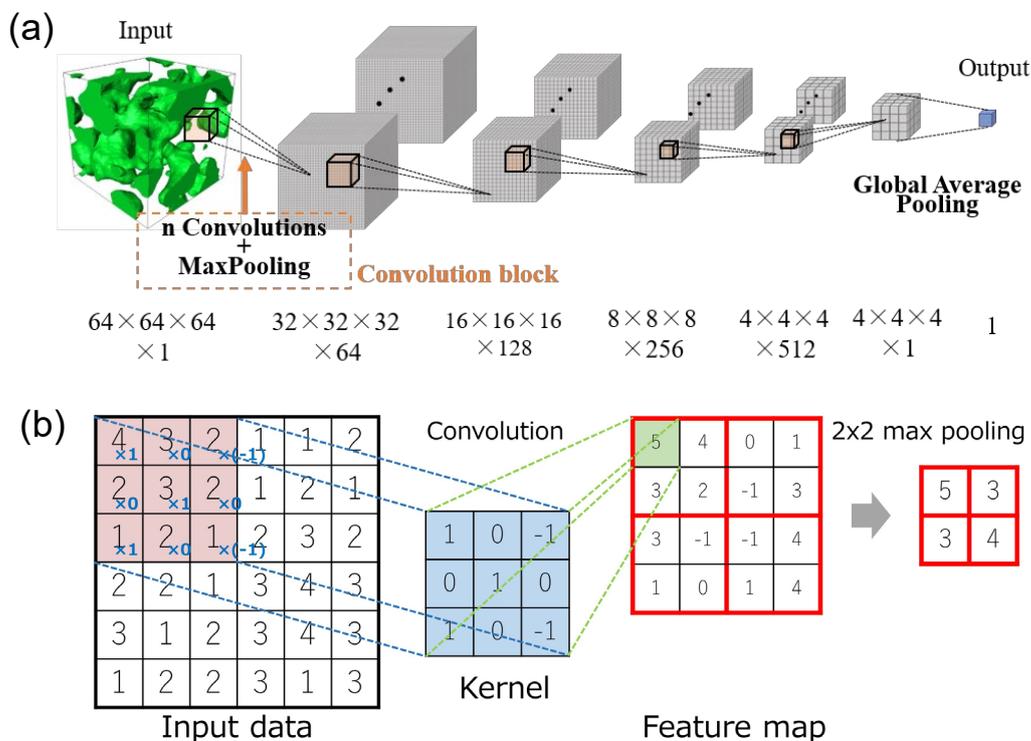


図6 (a) 多孔質電極の屈曲度ファクタを定量化するCNNの模式図。(b) 畳み込みとプーリング操作の模式図（2次元における例）。

CNNに限らず、機械学習モデルの訓練には多数の教師データが必要です。研究室にはこれまで10年以上にわたって蓄積されてきたSOFC電極の実構造データがありましたが、それでも数が足りませんでした（必要な数が2桁くらい多い）。構造を反転させたりしてデータ数を水増しするdata augmentationというテクニックもあるのですが、焼け石に水でした。そこで、前節で構築したGANを有効利用することを考えました。つまり、様々な組成比の電極模擬構造を何千も出力させて、それを教師データとしました。

GANから出力した模擬構造を用いてCNNを訓練し、訓練されたモデルを用いて実構造の屈曲度ファクタを推測した結果の例を図7に示します。このグラフは横軸を推定値、縦軸を真値とするパリティプロットとも呼ばれ、データ点が斜めの赤線に近いほど推定精度が高いことを意味します。図からわかるように、ある程度の誤差はあるものの、すべての相について屈曲度ファクタを高い精度で推定できました。グラフ中の R^2 は決定係数であり、その値が1に近いことからわかります。

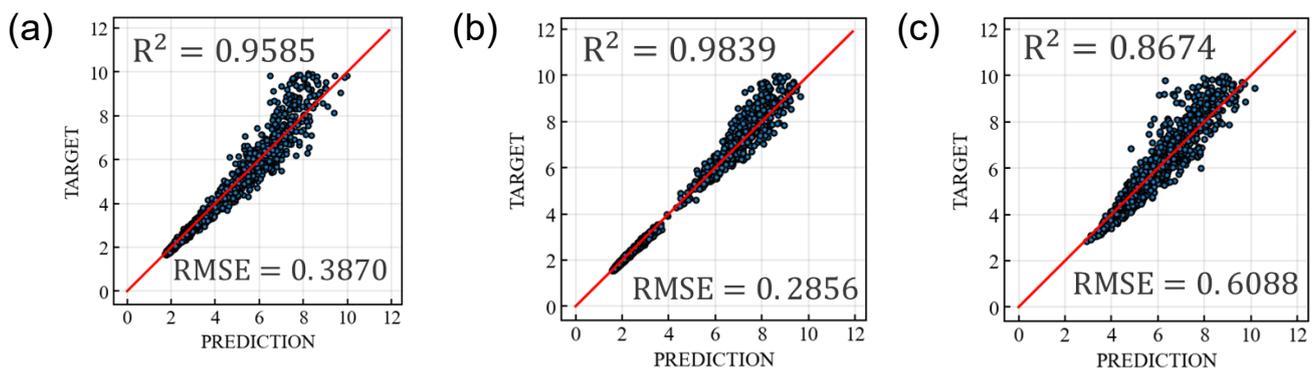


図7 屈曲度ファクタの予測値と真値のパリティプロット。

(a) Ni相、(b) YSZ相、(c) 空隙相

構築したCNNを用いることで、構造の屈曲度ファクタを文字通り一瞬で求めることができるようになりました。従来の拡散シミュレーションでは、一つの構造から屈曲度ファクタを求めるのに数時間かかっていたことと比べると、劇的な進歩と言えます。もちろんCNNの訓練のためのデータ生成や、CNNの訓練のプロセスにはある程度の時間がかかりますが、一旦できてしまえばその先は楽です。図2に示すような構造最適化ループにおいて、様々な構造に対して定量化をする際には強力なツールとなると期待しています。

5.3. Physics-Informed Neural Network (PINN) を用いた電極性能予測

最後に構造からの電極性能予測です。これまでは多孔質内部で電子、イオン、ガスの保存方程式を考え、それらを離散化し、反復解法を用いることで収束解を求めるという数値シミュレーションが行われてきました[10-13]。しかし、多孔質構造を計算系とする数値シミュレーションは極めて計算負荷が高く、様々な構造や運転条件において網羅的に計算することは現実的に不可能でした。

そこで、新たな方法としてphysics-informed neural network (PINN) [20, 21]に注目しました。PINNの模式図を図8に示します。左側は複数の全結合層からなる

一般的なニューラルネットワークであり、時刻や座標と言った独立変数を入力とし、温度や速度と言った従属変数を出力します。特徴的なのはネットワークの訓練プロセスであり、通常の機械学習のようにデータを用いるのではなく、支配方程式を用います。つまり、出力された従属変数が、現象を記述する支配方程式や初期条件、境界条件を満たすかどうかを評価することで誤差（損失）を計算し、それを最小化するようにネットワーク中のパラメータをチューニングするというわけです。ちなみに微分方程式を満たすかどうかの判断には、従属変数の独立変数に関する偏微分が必要となりますが、機械学習ライブラリが備える自動微分機能を用いると、苦も無く取得することができます。

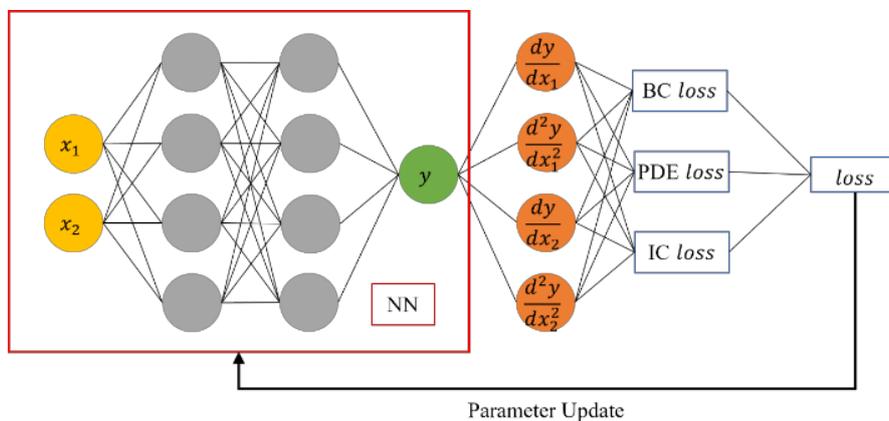


図8 PINNの模式図。

PINNは機械学習技術の中でもまだ提案されてから日が浅く、どのような問題に対しても普遍的に適用可能かどうかは不明確ですし、計算のテクニク的なものの蓄積も少ない印象です。そこでまずは簡単な問題からということで、電極シミュレーションの支配方程式の中でも律速過程であるイオン伝導のみを考え、以下のような電位 ϕ_{io} の式を解くことから始めました。

$$\sigma_{io}^{eff} \frac{d^2 \phi_{io}}{dx^2} = -i_{ct}$$

右辺の生成項は電極中の電気化学反応を表すものであり、電位 ϕ_{io} を含む非線形な生成項です。これを解くためのニューラルネットワークには、16ノード4層の全結合層からなる典型的なものを用いました。

ここで強調しておきたいのは、PINNは機械学習手法を用いてはいますが、偏微分方程式の求解法のひとつとも捉えることができることです。また、通常の離散化・反復解法と比べて、計算時間が短くなるとは必ずしも言えません。PINNの長

所が生きるのは、ひとつのネットワークを一度訓練するだけで、様々な条件（初期条件・境界条件）に対して解を与えることができた場合です。そこで、図9 (a) のような、ある特定の運転条件に対して解を与えるネットワークの他に、図9 (b) のような、入力として運転条件（ここでは電極過電圧 η_t ）を含むようなネットワークも考えました。

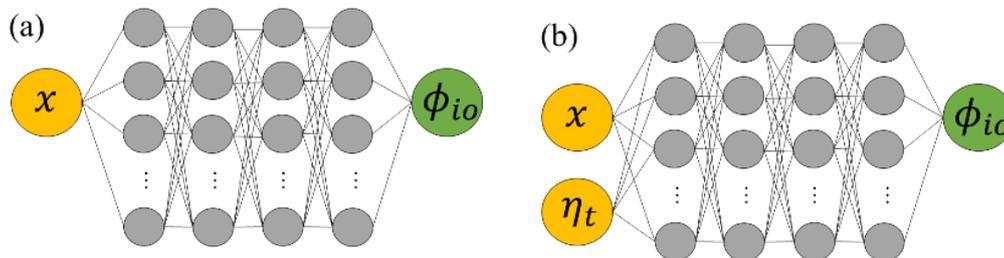


図9 電極解析に用いたPINNモデル。

- (a) 特定の過電圧条件に対して解を与えるネットワーク（PINN1）、
 (b) 任意の過電圧条件に対して解を与えるネットワーク（PINN2）。

図10に得られた電極内の電位分布を示します。黒線が従来の数値シミュレーションによって得られた解であり、ここでは真値と考えます。赤線は図9 (a) のネットワーク（PINN1）、緑線は図9 (b) のネットワーク（PINN2）から得られた解を表します。運転条件として異なる3条件を考えました。グラフより、PINN1による解はどの条件でも真値とほぼ一致していることがわかります。ただこれは、各条件においてそれぞれ個別にネットワークを訓練しているのだから当然です。一方でPINN2は、一度の訓練で様々な運転条件に対応することを求められているわけなので、より難しい問題と言えます。PINN2による解を見ると、電極の過電圧が大きいとき（たくさん発電した時）には真値とよく一致していますが、小さいとき（あまり発電しないとき）には誤差が大きくなっていることがわかります。これはおそらくネットワークが、過電圧が大きい場合により適合しようとしたからであると想像できます。そのため、様々な条件の情報を平等にネットワークに教えながら訓練するための工夫が、今後必要になると考えています。

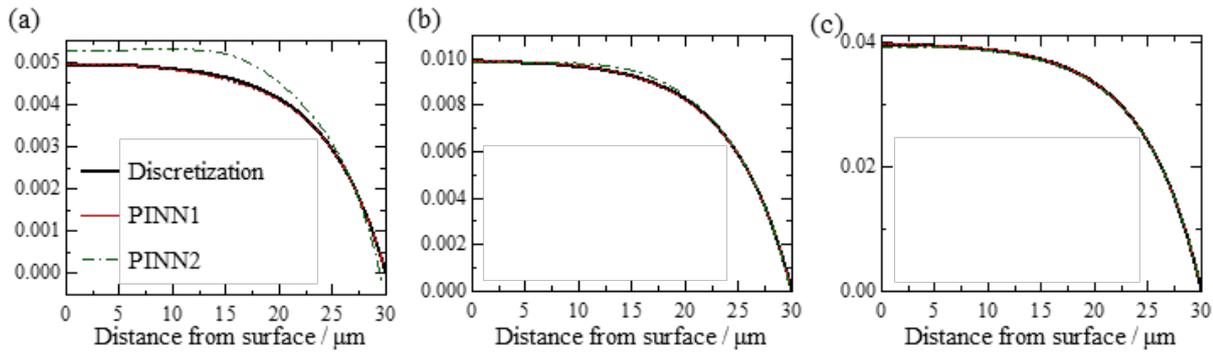


図10 PINNIにより推測された電極中の電位分布と、従来の数値シミュレーションにより得られた分布の比較。電極過電圧 η_t = (a) 0.005V、(b) 0.01 V、(c) 0.04 V。

問題はまだあるとはいえ、PINNを用いて電極のシミュレーションができそうであるという感触を得ることができたので、今後は今回無視した現象（電子伝導やガス拡散）をきちんと考慮したり、様々な運転条件に対応したりできるようなネットワークの開発を行いたいと考えています。

6. まとめ

「研究室として機械学習の要素を研究に取り入れたい」というぼんやりとした動機から4回生の卒業研究のテーマを設定して、どんな結果でも（うまく行かなくても）構わないというスタンスで始めたのですが、期待以上の結果が出てきて嬉しく思っている今日この頃です。その要因は、担当してくれた学生の頑張りはもちろんですが、機械学習を行うためのライブラリが極めて充実していることもあります。GoogleやFacebookで開発されたTensorflow[22]やPyTorch[23]といったライブラリを使えば、初心者でも驚くほど簡単にネットワークの構築と訓練が可能です。機械学習技術の爆発的な広がりには、こういったライブラリに支えられているようにも思えます。ブラックボックス的に使っていて中のことを十分に理解していないことも多々あり、危うさを感じることもあります。ユーザとしてある程度割り切って使うことも必要なのかもしれません。

参考文献

- [1] Panasonicウェブサイト : <https://panasonic.jp/life/air/170035.html>
- [2] Chat GPT : <https://openai.com/blog/chatgpt>
- [3] Deep L : <https://www.deepl.com/translator>

- [4] J.R. Wilson et al., Nature Materials 5 (2006) 541.
- [5] H. Iwai et al., Journal of Power Sources 195 (2010) 955.
- [6] N. Vivet et al., Journal of Power Sources 196 (2011) 7541.
- [7] J.R. Izzo et al., Journal of The Electrochemical Society 155 (2008) B504.
- [8] P.R. Shearing et al., Journal of the European Ceramic Society 30 (2010) 1809.
- [9] 京機短信364号 seriesわたしたちの研究(11) : 熱システム工学研究室
- [10] M. Kishimoto et al., Journal of Power Sources 196 (2011) 4555.
- [11] N. Shikazono et al., Journal of The Electrochemical Society 157 (2010) B665.
- [12] M. Kishimoto et al., Journal of The Electrochemical Society 159 (2012) B315.
- [13] T. Carraro et al., Electrochimica Acta 77 (2012) 315.
- [14] 東芝ウェブサイト : <https://www.toshiba-clip.com/detail/p=152>
- [15] H. Hwang et al., Journal of Power Sources 471(2020) 228458.
- [16] A. Sciazko et al., Journal of The Electrochemical Society 168 (2021) 044504.
- [17] I.J. Goodfellow, arXiv:1406.2661v1 (2014).
- [18] Z. Yang et al., Computational Materials Science 151 (2018) 278.
- [19] K.M. Graczyk et al., Scientific Reports 10 (2020) 1.
- [20] M. Raissi et al., arXiv:1711.10561v1 (2017).
- [21] M. Raissi et al., arXiv:1711.10566v1 (2017).
- [22] Tensorflow : <https://www.tensorflow.org/?hl=ja>
- [23] Pytorch : <https://pytorch.org/>

Profile

京都大学工学研究科機械理工学専攻熱システム工学研究室 准教授

1986年、滋賀県犬上郡多賀町に生まれる。2008年に京都大学工学部物理工学科を卒業。2010年に同大学大学院航空宇宙工学専攻修士課程修了。2013年に同博士課程修了、博士号取得。2013年から2年間日本学術振興会海外特別研究員として英国Imperial College London、Department of Earth Science and Engineeringにおいてポスドク。2015年4月に京都大学大学院航空宇宙工学専攻特定助教。2020年4月に同大学機械理工学専攻特定助教。2021年11月から同専攻准教授。

研究室HP : <http://thermal.me.kyoto-u.ac.jp/>

The car which I love (14)

LANCIA Delta HF Integrale 16V 車齢32歳

川那辺 洋 (H2/1990年卒)



1. はじめに

ラリーの競技車両ベースとして知られるLANCIA Delta HF Integrale 16V が私の元にやってきたのは1996年の11月で、それまで乗っていたトヨタセリカ（父から譲り受けたST182）の車検が切れる直前でした。このDeltaは1991年に初年度登録されたもので現在の車齢では32歳ということになりますが、当時5年落ち4万8千キロの普通の中古車として購入しました。これが27年たった今も私の手元にあるとは想像すらできなかつたことです。幼少よりモータースポーツが好きで当時のF2をテレビで見たり、雑誌オートスポーツで様々な記事を読んだりしていたところから、ラリーも興味をもって見ていました。ただし、現在と違いテレビで放映されるようなこともほとんど無く、もっぱら雑誌上でふれる程度で、それでも出場している車にはなんとなく憧れのようなものがあつたのでしょうか。いざ自分でクルマを購入しようと物色しているときに、このクルマが国産の新車くらいの価格で市場に流れていることをみつけて、「5ドアハッチバックだから実用的に普通につかえるよね。」というなんとも今考えると恐ろしい感覚で手に入れようとなつたわけです。紆余曲折あつて結局京都の某ショップ（いまでも面倒を見てもらっています）で委託販売になっていた個体がやってくることになりました。



2015年10月24日 丹後で開催されたレジェンドラリーにて。

2. LANCIA Delta HF Integrale 16Vというクルマ

ここでLANCIA Delta というクルマについて少し説明を加えておきたいと思います。これは1979年にすでにFIATグループになっていたLANCIA社より、当時に人気のあったVWのGolf（デザイナーも同じジウジアーロ）を横目でにらみながら発売されたクルマで、1.3L、1.5Lおよび1.6Lのエンジンに加えて1.6Lをターボ過給したHFターボといったラインアップでした（GolfのGTI対抗という感じがしますね）。一方、当時LANCIA社はラリーにもワークスチームで参戦しており、常勝チームの一角を占めていました。その当時のトップカテゴリーはGr. Bと言われるベース車両を年間200台市販すればよいという、ほとんどオンロードのスポーツプロトタイプのようなマシンであり、年々マシンが凶暴化していました。そしてついに事故による多大な損失が生じた（当のLANCIAもトップドライバーであるヘンリトイボネンをツールドコルスで失うことになりました）ために、1987年からは年間5000台以上の市販を義務づけられているGr. Aをトップカテゴリーとすることになります。このとき、すでにラリーは四輪駆動車でないと勝てない時代になっていましたから、LANCIA社は、Deltaを用いて、生活四駆として開発されてきていたインテグラレシステムと2クラス上のThemaに搭載されている2.0Lターボ過給エンジンを無理矢理（実車を見るとこうとしか言い様がない）詰め込むことによってベース車両を設定します。これがHF 4WDというクルマになります。これを、ワークスチームを運営していたHFスクアドラコルセに持ち込みラリー車として仕立てたクルマで1年戦い、まずは製造者チャンピオンを獲得します。しかし、そのままで連勝できるほど甘くは無く、次年度は当然さらに強化されたベース車が必要になります。そこで、前後のトレッドを広げるべく、とってつけたようなオーバーフェンダー化がなされます（本当にとってつけているということが実車をみるとよくわかります）。これがHF Integraleと呼ばれるクルマです。さらに1989年にはこのクルマのエンジンをそれまでの8バルブから16バルブ化したものを搭載します。このためエンジンのヘッドは大きくなりボンネット下に収まりません。そこでボンネットを膨らませることになります。これがHF Integrale 16Vということになって、私の手元にあるのがこのクルマです。ここまでがいわゆるLANCIA社のワークスチームで戦われたクルマのベース車両です。その後1991年には、根本的にボディを作り変えてさらに幅広くし、空力パーツの後付けが不可能なGr. A規定に合わせてベース車両からルーフ後部にスポイラー

を取り付けます。これがHF Integrale Evolutioneということになります。一般的にはこの車両の人気が高く、よく知られています。また、人気が高くなったために、その後ラリー車のベースとは別にターボを小型にするとともに点火系を強化して街乗りにも優れたHF Integrale Evolutione IIというクルマも販売され、1995年にはこれをベースとして日本国内専用のCollezione（別名Japanese Final Ed.と呼ばれて海外でも人気）という限定車が250台販売されて終了します。

3. 手に入れてから（クルマというハード）

Deltaに乗っていると「壊れてたいへんでしょう。」とよく言われます。確かに、手をかけずにそのまま乗れるという代物でないのですが、とはいえ、どうしようもないほど壊れ続けるということもありません。なにより、いままで一度も路上で立ち往生したことはありません（と言うと、他のDeltaユーザには「それはあたりだよ」と言われますが）。まあ、トラブルをいちいち書き出していくと紙面がつかますのでやめておきます。最初購入するときに、ショップのメカに、「とりあえずガソリン系統のひき直しだけはさせてください」と言われて、なんだかわからず「はいはい」とお願いしたのですが、その後、他のオーナーの方から路上でガソリンをふいてアスファルトに穴を開けた（アスファルトはガソリンでドロドロになるのですね）とかエンジンが燃えたという話を聞いたときに、やっといてよかったと思ったりするのです。はじめに大規模に手を入れたのは2004年で、ボディの補修および全塗装をしました。それまでそれこそ普通に使用していたため、ルーフのハッチ側裏（水がたまりやすい）を手でなぞると指にいっぱい錆がついてくるという状態になり、さすがに手を入れた方がよさそうということになりました。お世話になっているショップに相談すると、大阪にいい塗装屋があるからということでお願いすることになりました。あせてしまっていた色はエンジンルームから拾って全く同じ色を作って、ボディの怪しいところは補修してということで、「10年持つボディを作ってください」とお願いしたところ、「5年で勘弁してください」と言われましたが、それから20年近くたってもおおよそ大丈夫ですからかなりよい仕事といえるかと思います。なお、その塗装屋さんは某ヨーロッパ車ディーラーからも仕事を受けているようで、イタリアFとか英国RR、Bなどにまざって塗ってもらっていたようです。そのほかは、最初の写真の丹後ラリー（マップラリーですのでのんびり）を走ったときに、足まわりが相当くたびれ

ていることに気づきました。そこで、目指せ5年落ち中古車（新車の状態を知らないの）をコンセプトに足まわりを仕上げようということで、あしかけ3年で部品を集め（主に英国、ドイツ、イタリア、インターネットがある現在だから可能になった）、2018年頃にブッシュ周りまですべて入れ替えを行い、ちゃんと走れるようになりました。その後は現在までとくに（大きな）問題なく走れています。

4. 手に入れてから（クルマ文化というソフト）

このクルマを手に入れてすぐに、やはりいろいろな情報が欲しいので同じクルマを所有している仲間が作ったメーリングリスト（懐かしいですね）に参加したり、本社公認クラブ（Lancia Club Japan (LCJ)）に参加したりということをしました。なかでもこのLCJを通して、LANCIA社の他のモデル（とくにFIATに買収されるまで）の話をいろいろと聞くことができたのは工学に少しでも関わるものとしてはこの上ない楽しみとなっていきました。また、2000年に英国に1年間滞在した際にも英国のランチアクラブ（Lancia Motor Club (LMC)）に参加し（今も会員を続けています）、イベントに参加したりしました。このときにLambda（1922-1931）の助手席に乗せていただく機会もありましたが、75年前（当時）のクルマとは思えない乗り心地と、現代的と思える動きに感動したりもしました。ラダーフレームに板バネおよびフリクシオンダンパーを用いたリジッドアクスル、サイドバルブエンジンというのが一般的だった1920年代当時、鋼板製モノコックと呼んでもよいボディ構造にスライディングピラーと呼ばれるコイルバネと油圧ダンパーを用いた独自の独立懸架システム、狭角V4のOHCエンジンという独創的な車作りがなされており、ミッレミアなどの公道レースでも活躍できたのでした。このLambdaというクルマは故 小林彰太郎さん（カーグラフィック誌 (CG) を創刊した）も亡くなるまで愛用されていました。



2000年11月21日 故John Turner氏と彼のラムダ

(Silver Stoneサーキットで開催されていたVintage Sports Car Clubのイベントにて)

また、友人からの申し出で1974年のサファリラリーに出場したワークス車両の Fulvia Coupe 1.6HF を借りてイベントに出場してサーキットを含めて700kmほど運転したり、別の友人のクルマをイベントの帰り道に運転したりとFulviaについては結構な距離を運転する機会にも恵まれました。なお、このFulvia(1963-1975)というクルマはLANCIA伝統の挟角V4エンジンの縦置きFFという凝った作りで、運転してみると1960年代に作られたFFとは思えない素直な特性にたいへん驚いたものです。そのハンドリングの良さからCoupeボディはラリーで、Zagato Coupeボディはオンロードレースで活躍して、LANCIA社のモータースポーツイメージ向上に一役かった車でもあります。このようにクラブなどの同好の集いでいろいろな方からのお話しが聞いたり、実車を見たりというのは貴重な体験となっていきました。とくに前述の小林彰太郎さんはLCJの名誉会員でもありましたのでクラブミーティングではそれこそLANCIA車の魅力、CG創刊からクルマ雑誌として育てていく過程などもそのままお伺いすることもできました。



現オーナーのガレージに収まる1974年サファリラリーワークスのFulvia Coupe 1.6HF



2012年12月8日 左：左からブレシアの森さん、CG代表の加藤さん、自動車評論家の故 川上さん、筆者。 右：故 小林彰太郎さんとラムダのステップに腰掛けて（CGイベントで日本平にて）

5. おわりに

これまで、とにかく普通に使えるようにというのを基本として、とくに改造等をせず、できるだけ標準のパーツで修理してきたこともあり、現在は一年に1回の点検でとりあえず維持できています。これはハードとしてのクルマ趣味ということになるかと思いますが、一方、最近はどちらかといえば所有しなくても成立するクルマ趣味、すなわちソフトとしてのクルマ趣味の比率が上がってきています。もっとも、このようなソフトとしてのクルマ趣味という世界に導いてくれたのも、LANCIA Delta Integraleというちょっと変わったハードがあったからこそかもしれません。

瓢箪山稻荷神社

藤川卓爾 (S42/1967卒)

私の父は会社を退職後に東大阪の瓢箪山稻荷神社に奉職した。私が大学2回生の時である。

瓢箪山稻荷神社は生駒山の西麓に鎮座している。近鉄奈良線で高校ラグビーの聖地花園を過ぎて東に直進する線路が大きく左に曲がる場所である。

「瓢箪山稻荷神社」（2023年4月29日23時（日本時間））『ウィキペディア日本語版』によれば、この神社については下記のとおりである。

「日本三稻荷（諸説あり）の一つであり、辻占総本社である。

創建は天正11年（1583年）。羽柴秀吉が大坂城築城にあたり、巽の方（大坂城の南東）三里の地に鎮護神として伏見城から「ふくべ稻荷」を勧請したことが由緒とされている。現在の本殿は、慶応2年（1866年）に建てられたものである。

神社本殿の背後にある小丘は、通称「瓢箪山古墳」とよばれる、古墳時代後期・6世紀末ごろに作られた双円墳で、北側を大塚（狐塚）、南側を鬼塚と呼ぶ。山畑古墳群の中で最大・最古のもの。そのヒョウタンに似た形状から、古墳および一帯の地名が「瓢箪山」と呼ばれるようになった。宮司は代々山畑家。」



瓢箪山稻荷神社

瓢箪山稻荷神社の御祭神は若宇迦乃賣命（保食大神）で、再びWikipediaによれば、

「ウカノミタマは、日本神話に登場する女神。『古事記』では宇迦之御魂

神（うかのみたまのかみ）、『日本書紀』では倉稻魂命（うかのみたまのみこと）と表記する。名前の「宇迦」は穀物・食物の意味で、穀物の神である。また「宇迦」は「ウケ」（食物）の古形で、特に稲霊を表し、「御」は「神秘・神聖」、「魂」は「霊」で、名義は「稲に宿る神秘的な霊」と考えられる。記紀ともに性別が明確にわかるような記述はないが、古くから女神とされてきた。」

とある。

日本三稲荷には諸説ありとあるが、「稲荷神」（2023年4月29日23時（日本時間））『ウィキペディア日本語版』によれば、日本三大稲荷として次の記述がある。

「一般的には伏見稲荷大社、豊川稲荷（円福山豊川閣妙巖寺）、笠間稲荷神社、祐徳稲荷神社の4社寺が挙げられることが多いが、伏見稲荷大社によれば「日本三大稲荷神社」について自社以外の2社は様々な説があって特定できないとしている。通常、総本宮である伏見稲荷大社は必ず挙げられ、次いで仏教系の豊川稲荷が含まれることが多く、……」

また、日本〇大稲荷として下記の表が示されている。この表の11番目に瓢箪山稲荷神社が出ていて、「三大」のところに〇が付いている。

日本〇大稲荷（稲荷神 - Wikipedia より）

	寺社	所在地	総称						
			二大	三大	四大	五大	六大	七大	十大
二大	伏見稲荷大社	京都府京都市伏見区	○	○	○	○	○	○	
	豊川稲荷（豊川閣妙巖寺）	愛知県豊川市	○	○	○	○	○	○	
	祐徳稲荷神社	佐賀県鹿島市		○	○	○	○		
	笠間稲荷神社	茨城県笠間市		○	○	○	○		

愛知県の豊川稲荷は神社ではなく寺であり、境内に祀られる秘仏「豊川吒枳尼真天（だきにしんてん）」の稲穂を担いだ姿などから、一般には「豊川稲荷」の名で呼ばれるようになった。

瓢箪山稲荷神社は辻占の総本山でもある。辻占には3種類あり、どれも願いや希望をあらかじめ設定して行う。

① 焼ぬき・あぶり出し・おみくじの3つから総合的に占う「辻占おみくじ」

- ② ひょうたん型の煎餅を割って占う「辻占瓢箪筮」
 - ③ 「占場」の前の道を通る人の会話や行き先などをもとに占う「辻占判断」
- 上記のうち3番目が「辻占」の語源となったのではないかとと思われる。

この3番目の辻占判断は、

- (1) 社務所で受付の後、神前で祈願して、1~3の数字が書かれたおみくじをひく。
- (2) 占場に行き、おみくじに書かれた数字の順番で通る通行人を観察する。
- (3) 社務所に戻り、宮司に通行人の通った方向や服装、持ち物などの特徴を伝える。宮司の家系に代々口伝されている霊示や四柱推命を加味して、宮司が占いの結果を伝える。



瓢箪山稲荷神社占場

半世紀以上前にこの神社でお正月の初詣対応のアルバイトをした。下の写真の左端の男性は小学校からの幼馴染の友人、巫女役の女性は当時奈良女子大学と大阪学芸大学（現在の大阪教育大学）の学生、筆者は京都大学の3回生であった。



初詣対応のバイト学生たち（昭和41年正月、右端が筆者）



父と一緒に(昭和 42 年正月)

我が家は曾祖父の代に真言宗から神道に改宗し、曾祖父は教員を本業としながら神社に奉仕した。祖父と父は老後に神社に奉職した。私も会社を定年退職後に勤務した大学を退職後、國學院大學の神職養成講習会を受講しようとしたが、受講資格が満65歳までという制約があった。65歳以上でも國學院大學に入学して卒業すればよいとのことであったが、時間的並びに経済的に難しいと考えて断念した。学生時代の神社での体験は今でも懐かしく思い出す。