

# 画像技術の宝物

～「ナラティブ技術論」のススメ～

上巻 画像技術，身近な学術



輿水大和

## 発刊に寄せて

興水先生は長年にわたって画像工学の原理から現場適用まで広い分野で先駆的な研究をされた（されている）ばかりでなく、画像処理，認識からさらに展開して似顔絵など画像生成に関する新しい分野も切り拓いてくださいました。また，研究者としてのご活躍に合わせて，研究者コミュニティの創設，改革においても確かな足跡を残し続けていらっしゃいます。

本書では，多くの具体的な事例を引きながら画像研究に対する興水先生のお考えが紹介されております。また，学術的内容に加えて研究コミュニティ，さらには科学技術自体および現代社会に対する哲学的な思いも縦横無尽に語られています。そのため「思わぬ展開をみせる話の随所に見逃せないエピソードや一文が埋め込まれており，流し読みを許さない周密さがある」というのが私の読後感です。

画像処理（さらに言えば情報処理，科学）がAIに飲み込まれてしまった感がある現在，そして，科学とは何か，技術とは何かを改めて問われている現在，今しばらく興水先生のお話に耳を傾けたいものです。軽妙な語り口のなかに，決して易しくはない内容が多岐にわたって広がってくるのを心してじっくり相対すべき一冊の本だと思います。

橋本周司（早稲田大学名誉教授）

## まえがき

アドコム・メディア(株)のO plus E誌にて、『輿水先生の画像の話』という連載エッセイが2018年1月号からスタートした。『画像技術』を同誌の所掌のもっと主軸ちかくに置くためのお手伝いを依頼されたのだった。数えて5年の一区切りの一環にて、これまでの連載記事を再構成して、このたび本書を出版することになった。

『画像技術の宝物 ～ナラティブ技術論のススメ～』が拙著の名前である。

本書では、画像技術研究の舞台に埋もれている学術的宝物も画像技術そのものの宝物も、さらにそれらを支える宝物的な知恵も力も広く深く探したいと願った。こんな欲ばった願いは、事柄とその出来事をあたかもナラティブ (narrative) に物語るときだけに結晶して見えてきてくれるような気がして、緩々でもいいので“現場を支える技術論”にもこだわってみたいと考えて、こんな副題を添えることにした。どちらについても、あたかも川辺で銅や砂金を探すような心持ちにて、僥倖と幸運に倦まず弛まずこの身を任せてみようと努めてきた。

思い描いた読者であるが、万感を込めて、画像技術研究・開発の現場で闘っている敬愛する、実戦的ノービス、若き友人 (novice) の諸兄姉に読んでほしい。画像技術が向かい合う現場に立ち会う時、わが立ち位置は、いつでもどこでも幾つになっても“ノービス”たらんと在ることが自然であって、かつそれが最強のプロフェッショナルな心構えに違いないからである。もしかしたら本書は、話題が画像技術に特化しているが、そうでない技術分野の読者にも通底して何かが届くかもしれないと夢想している。

画像技術の今後には大きな期待ばかりで何の憂いもない。そうあるためには、迅速な舵取りやトレンドキャッチアップの短期的展望に是非もなく取り組みながら、社会と産業現場からの要請と期待に対して、また画像技術を下支えする諸子百家の天声に対して、真っ直ぐに向かい合っていることが肝要であると思っている。その折節において画像技術研究開発の日毎の糧に、そんな天声に耳を澄まそうと願った本書がその座右の片隅におかれていたらこんな嬉しいことはない。

「物まなびに心ざしたらむには、まづ師をよく扱ひて、その立ちたるさまを、よくかむかえて従いそむべきわざなり。」

(本居宣長、玉勝間十二の巻一節)

本書は、上・中・下巻の3分冊にまとめる。

まず上巻では、そもそも画像技術はどんな学術で如何なる技術なのか、その魅力と課題について具体例をもとにみていきたい。

一つは、画像技術は産業分野に広く手が届く基盤情報技術でありながら、実は生活場にあっても活躍する身近で等身大の科学技術であること、またそのゆえにスマホのカメラに象徴されるように、顔の画像研究が花盛りになっていることにも特に目を向けておきたい。

二つは、画像技術の世界を概観し、さらにカッティングエッジのあり様を具体例を挙げて覗き見して、いかにディープで面白い課題が今もって待ち構えているかを味わいたい。具体的には、画像デジタル化の数理理論、エッジ検出技術、平滑化技術、そして大局視覚技術としてのHough変換である。

2023年6月

著者記す 輿水大和

# 画像技術の宝物 ～「ナラティブ技術論」のススメ～ 上巻 画像技術，身近な学術

## 目 次

発刊に寄せて	i
まえがき	ii
目次	iii
<b>第 1 部 等身大の科学技術，画像研究</b>	<b>1</b>
<b>第 1 話 画像研究の事始め</b>	<b>2</b>
1. はじめに –画像研究はどれほど本格的な学術舞台たりえるものなのか？–	2
2. 一枚の山岳写真にて画像の話	2
3. 少しだけ“仕事モード”の顔の話 –人物画，顔学会の舞台で画像技術の再発見–	3
4. もっと生な“仕事モード”で出会った画像の話 –デジタル画像，医用画像，検反，溶接画像，など–	6
5. 画像研究の事始め，補遺：いくつかの感想	9
6. むすび	11
<b>第 2 話 顔の画像研究の世界</b>	<b>12</b>
1. 序 –『顔学，顔画像研究のススメ』–	12
2. 顔画像研究のことはじめ	13
3. 顔学と顔研究，トピックス –『顔の百科事典』誕生と中身–	14
4. 少し顔学補足 –今どきのトピックス，顔学と AI 顔認証–	18
5. おわりに –顔研究のメッカ，フォーラム顔学へのお誘い–	19
<b>第 2 部 画像技術の実世界，カッティングエッジ</b>	<b>21</b>
<b>第 1 話 デジタル化問題のシャノン標本化と量子化</b>	<b>22</b>
1. 序 –世界のデジタル観察は，そのままでは世界ではない！–	22
2. まえがき，課題導入 –世界をアナログ画像でみる，デジタル画像でみる–	23
3. 標本化の理論 –シャノンの発見と提案–	24
4. 閑話休題 –専門家の安心の仕方など，読み飛ばし OK です–	25
5. 量子化というもう 1 つの離散化 –画素値のデジタル化問題–	27
6. むすびと展望	29
<b>第 2 話 デジタル化問題のその先</b>	<b>31</b>
1. 続編・はじめに	31
2. さっそく，ST と OKQT の関わり	32
3. 量子化定理と標本化定理との間の絡みに関する定積分の立場からの検討	32
4. 宿題への雑感 / ST 定理と OKQT 定理の絡み	34
5. 補遺 / ST, OKQT の運用法	35
6. 補遺 / ST と OKQT のその先に	35
7. あとがきに代えて –エコで画期的テレビの妄想–	38

<b>第3話 画像のエッジ考</b>	<b>40</b>
1. はじめに –画像のエッジ考, そして検出原理–	40
2. 教科書のエッジ検出法, 概観と考察 –基本原理の枯渇と強化の可能性–	41
3. 柏木輿水法 (KK エッジ検出法) の実装と展開	43
4. 閑話休題 –エッジ考のための点描画と線描画–	45
5. 考察 –エッジ検出『四大原理』, そして, エッジ特徴を超える画素特徴について–	46
6. むすび, 展望	47
<b>第4話 新エッジ保存平滑化法の夜明け</b>	<b>48</b>
1. 序 –新エッジ保存平滑化法が精密工学からやってきた!–	48
2. はじめに –世界一頻出なのに世界一手薄な平滑化–	48
3. 「SR-EGPR」法の原理と実装	49
4. 新エッジ保存平滑化法の実証実験, その核心と新規性	50
5. あらためて, ボケを抑制する EGPR 研究を概観, 展望する	51
6. むすび	54
<b>第5話 大局視覚と Hough 変換</b>	<b>55</b>
1. 序	55
2. はじめに –苦手な大局視覚–	56
3. Hough 変換のルーツと経緯と原理	57
4. 寸考/Hough 変換スキームでない, 大局視覚の手がかり	60
5. 実装のための効率化, その第一歩 –高速化と省メモリ–	61
6. むすび, 展望	62
<b>第6話 Hough 変換の実用強化作戦</b>	<b>64</b>
1. 序	64
2. はじめに –続号の意気込み, もっと深掘り Hough 変換–	64
3. 実装のための効率化 –高速化の深掘り–	65
4. 横展開 –直線, 高次図形, そして任意図形の GHT–	69
5. もう1つ, 実装のための効率化 –省メモリ–	70
6. むすび	72
<b>第7話 型破りな Hough 変換の発見</b>	<b>73</b>
1. 序	73
2. はじめに	73
3. Hough 変換の基本変換関数をぶち壊す –禁断の EHT という変換関数群–	74
4. 線らしさ, 図形らしさの根本を考え直す –LMedS 変換–	78
5. Hough 変換実装の成功例!	79
6. Hough 変換研究のエピソード	80
7. むすび	81
<b>あとがき</b>	<b>83</b>
<b>総目次</b>	<b>84</b>

# 第1話 画像研究の事始め

## BEGINNING the Researches on IMAGE SCIENCE & TECHNOLOGY

### ◆ 1. はじめに

#### —画像研究はどれほど本格的な 学術舞台たりえるものなのか?—

いわゆる“仕事モード”で画像技術に接するのは当たり前のこと、画像に接して受けた、もっと原始的で素朴で普通な感覚をこの身に蘇らせて、“生身感覚モード”で画像の魅力と宿題を玩味し、賞味してみたらどうでしょう。これが、仕事モードに対しては新鮮で画期的な着想が生まれる源泉となるかも知れないし、生身感覚の画像メディアに対してより豊かで斬新な世界が広がるかも知れず、プラスのスパイラルがそこに生まれるに決まっている。原始、両者はシームレスであったに違いないからである。このような意義が期待できるだろうかと考えて、筆者のワガママな身辺の話題に付き合わせてしまう難点は読者の諸賢にはこらえていただきながら、画像や写真や動画に接した様々なシーンで感じたこと、刺激されたこと、それらから得られる「魅力も課題も」を注意深くマイニングできないものかと狙って、「画像研究の事始め」と題して本書をはじめたい。

同時にもう1つの狙いも密かに企てている。情報科学や人工知能やもっと広くは科学、技術、学術の中で、画像技術や画像処理技術や映像技術は、社会的・大衆文化的にみてどのくらい存在感の持ちうる舞台であろうか、学術的な観点からみてどのくらい深みのある舞台なのであろうか、しばし思いを膨らませる機会ともしたいと考えた。つまり、画像研究はどれほどに息の長い持続性をたたえた本格的な学術舞台なのか、これをご一緒に考え

てみたいと念願しているのである。というのも、自分自身からが懸命に問い続けるときだけ、天はその出口を懸命に示してくれるからである、という先達のメッセージを信じて。

「子曰。不曰如之何。如之何者。吾末如之何也已矣。」  
(論語 衛霊公第十五 15)

### ◆ 2. 一枚の山岳写真にて画像の話

ひどく私事であるが、筆者の郷里は山梨県北杜市で、その古家の庭先からは南アルプスが近くに眺望できる。その中でもことのほか、甲斐駒ヶ岳は多くの渋いファンがいることも耳にする。岩手山の好きな岩手県人、岩木山の青森県人みたいものである。

中央線下りの葦崎トンネルを出たあたりで車窓左前方にその雄姿に出会うことができる。**写真1**がそれである。しかし、この一枚は、多くの人が何度も目にした記憶の中の一瞬の一枚であるとも言えるが、実は、これは山岳写真を撮り続けている従弟(興水忠比古氏)の作品であり、私にとってもちょっと特別な甲斐駒ヶ岳である。名のある作品賞を受賞した名作のなかでもことのほかこの作品に私は心惹かれていて、小さな額を自宅の書齋に、大きくプリントした写真額を研究室において、大事にしている。

ところで、“なぜこの甲斐駒ヶ岳作品に魅了されるのだろうか”，と思いつめぐらせて久しい。どっしりした構図かも知れない、深いブルーの色調かも知れない、日本

## 第2話 顔の画像研究の世界

### Overviewing The World of FACIAL STUDIES through IMAGE TECHNOLOGY

#### ◆1. 序 –『顔学，顔画像研究のススメ』–

第2話は、顔の画像の話にお付き合いをお願いします。

少し具体的に、一例として**写真1**の『顔の百科事典』（丸善出版，2015年）という事典に力を借りて『顔の画像研究の世界』を紹介して、その魅力と宿題に目を遣りたいと思う。つまり、『顔学，顔画像研究のススメ』である。またそのために、中でも時代の注目を高く受けている、今どきのAI顔認証の話題にも少し触れる。というのも、この百科事典は始まったばかりであって、まさにこれから伸びていかなければならないからである。例えば、加えるべき宿題テーマの筆頭は、AI深層学習という技術かもしれない。

さて、この事典の誕生のいきさつは、あとで触れる日本顔学会の誕生とその学術活動 (<http://www.jface.jp/jp/>) と切っても切れない関係がある。丸善出版編集子（堀内さん、沼澤さん）に私が初めてお会いしたのが、この学会の会長を拝命したころの2012年3月であった。画像通信技術系の学会出席の折の東工大百年記念館で、「顔学をテーマにした百科事典の出版を考えられませんか？」と出版企画をお聞きした。このお申し出を日本顔学会理事会で揉んで基本構想を練り、出版社編集子と理事会選出の編集委員によって編集委員会がほどなくスタートした。そして上梓したのが何と2015年9月であった。20周年記念大会フォーラム顔学2015名古屋の受付デスクに平積みされてお目見えしたのであった。つまり、足掛け3年、実質はたった2年という短期間で、奇跡的な爆発力と粘着力にて異分野の研究者たちが集つ



写真1 顔学，顔画像研究のススメ

『顔の百科事典』の表紙デザイン（原版は鮮やかなカラー，日本顔学会監修，丸善出版，2015年9月）日本顔学会創立20周年記念出版

て、この百科事典が出来上がったのであった。

なお、初版は1500部印刷であったが評判も芳しく、現在、増刷の話が持ち上がっている。この瞬発力のうちに隠れた顔研究の魅力と宿題に目を遣る。これが、今回のテーマである。

以下2章では、顔を対象にした画像研究のことはじめの変遷と日本顔学会設立について述べる。3章では、改めて顔学の中身と標記の「顔の百科事典」誕生のいきさつを紹介するほか、持続的な顔学会という場における異分野交流の魅力についても紹介する。4章では、顔認証というホットなトピックス（NHK番組）にて、少しだけ顔研究とAI技術の話題を取り上げる。そして、今後の顔画像研究について考える機会とする。

# 第1話 デジタル化問題のシャノン標本化と量子化

## Deeply Prospecting The Basis of IMAGE DIGITIZATION

### ■ 1. 序 –世界のデジタル観察は、そのままでは世界ではない！–

科学も藝術も学術も人のやることなすこと営為はすべて、神さまが創造し賜うたわが身を含めたこの世界をありのままに観察して理解し、そして、徹底的にその世界に奉仕するのが望ましい。大げさでなく、ことの大小にかかわらずこの姿勢は信頼に足る。画像の話をしてその先を遠望するときも同じであろう。

画像科学技術は、文字通り画像や映像によって世界を観察し、AI技術が世界を認識し理解しようと努める。その画像による世界理解のため、今もってデジタルでサイバーな世界観察の門口に、デジタル画像の作り方、つまりデジタル化という物理的操作の基本問題が未だに解けずに鎮座している。

したがって、非常に不安定なままの基盤のうえにサイバー世界の楼閣が加速度的に築かれつづけているのである。だから、世界の画像を享受し感謝したり不平を言ったりしながらも、この画像の「デジタル化」という基本問題の魅力と宿題と、そして、奥義とでもいうべき秘密と未だ解けないベールの中を覗きたいと思う。

写真1のLennaの顔は、賽の目状のタイルをただただ敷き詰めただけの数値配列であるが、これはどういう意味で信頼していいのでしょうか？世界のデジタル観察は、そのまま世界ではない！のであ

る。このような素朴な感覚の意味でも、画像に触れるものにとって例外なしに画像のデジタル化基本問題は他人ごとではない。

このテーマは、2話にわたって続ける予定である。今回は、シャノンの空間離散化理論からのメッセージに焦点をあて、加えて画像量子化という離散化について守備範囲のスポットを広げ、「OKQT」という階調離散化理論からのメッセージにも目を向ける。

第2話では、デジタルデータからアナログデータが復元できればよい、とするSTとOKQT量子化を少し掘り下げつつ、これら2つの空間と階調の離散化理論の絡みを同じく理論的に掘り下げる。最後の話題では、パターン認識と情報科学の礎を築かれた飯島泰蔵先生にご登場いただく。



写真1 Lenna (SIDBA) のデジタル画像  
右目のあたりのトリミングとズーム (賽の目状記録)

## 第2話 デジタル化問題のその先

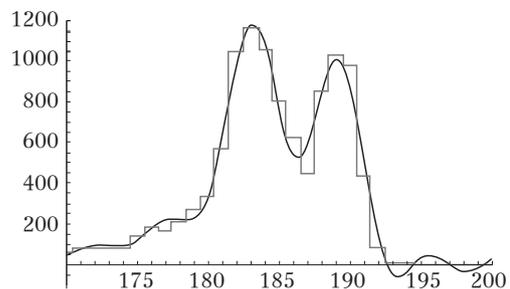
### A SUCCESSOR: Deeply Prospecting the Basis of IMAGE DIGITIZATION

今回は、第1話の続きである。この話題が、第1話と第2話の連載で収まるほど細身なものではないが、それなりに頑張ります。頑張り方として思いつく項目を上げると、まずはSTとOKQTの絡み（飯島泰蔵先生）、つまり完全デジタル化への展望である。これに加えて、面白くて重要な話題が満載である。それらは、 $p(f)$ の仮定法、カットオフ周波数 $u_c$ と $v_c$ の推定法、運用法、OKQTは未だ一必要条件、共起ヒストグラムの復元問題、局所OKQTとpixel単位のOKQT、OKQT-based画像符号化、エコなAD/DAデバイス開発などである。これらを、浅からず深からず、またできる限り有機的につなげて整理・整頓できるようにこころ掛けるようにします。

#### ◆1. 続編・はじめに

画像のデジタル化という基本問題について、まず写真1をご覧ください。中身はいささかややこしい事態をそのまま飲み込むところから始めますが、しばし我慢してください。ここに第2話の基本課題の根幹が隠れているからである。横軸を空間とみてここがデジタル化（標本化）され、縦軸を濃度値としてここがデジタル化（量子化）されるが、これらの2つの物理操作は、標本化定理STとOKQT定理の管理下においては、これら2つの定理からの要請を満たすためには、互いに自分勝手には実施できないのである。

その要点は、標本化（S/sampling）と量子化（Q/quantization）という2つの物理的操作はその関係に注



滑らかな曲線(アナログ画像)と rect 関数列(量子化されたがまだ標本化されていないデジタル画像)

写真1 2つのデジタル画像と  $S(Q(f(x))) \neq Q(S(f(x)))$

意を払っていないなければならないことである。目指す目標は、滑らかなアナログ画像 $f(x)$ から完全デジタル画像 $\tilde{f} = (\tilde{f}_i)$ を作らなくてはならない。そのためには、空間デジタル化（S/標本化 Sampling）も濃度値デジタル化（Q/量子化 Quantization）も一挙に実施されなければならない。それらは関数の定義域と値域に独立に施される物理操作であるので、どちらを先に実施しても形式的には構わない。ところが、次の理由でそうはいかない。

すなわち、S操作としてシャノン標本化定理を適用し、Q操作としてOKQT量子化定理を適用するという管制下におくと、このSとQの実施順番によって違ったデジタル画像が生み出されるのである。仮に、Sを先にQを後に実施した場合の $Q(S(f(x)))$ の結果のデジタル画像 $\tilde{f}$ と、その逆の操作による $S(Q(f(x)))$ のデジタル画像 $\tilde{f}$ とは、操作の非線形性の故に互いに異なる。言ってみれば、

## 第3話 画像のエッジ考

### DISCUSSIONS on EDGE of IMAGE

#### ◆ 1. はじめに

##### —画像のエッジ考, そして検出原理—

画像技術の体幹部には、いわゆる画像処理手法群がある。

ざっと思いつくだけでも、平滑化法、2値化閾値選択法、鮮明化法、幾何学的補正法などである。いずれも、現場からの活きたデジタル画像に恐る恐る手を加えて、それぞれに、「望まない雑音を抑え込みたい」、「狙った対象図形を抜き出すための2値化閾値を探し当てたい」、「ボケの中からテクスチャのディテールを見定めたい」、「カメラレンズの都合で歪んでしまった対象の形があるがままた再現したい」、などの要望に応えようとするもので、学術・技術的企ての涙ぐましい数々の知恵が集積されてその体幹部を成している。しかしながら、第3話のテーマは、これらの体幹部の筋力もしなやかさも、もっと体系化し、強化することを本気で考えたほうが良いのではないか、という問題意識から出発している。

ところで、同じような趣旨からの技術的要請の強い手法の1つに、エッジ検出 (edge detection) がある。第3話は、これに焦点を当てたいと考え、タイトルを「画像のエッジ考」とした。上記のような体系化の問題意識からすると、“エッジ検出”技術開発は、実は、画像処理という学術技術の深部と細部に遡及する、ちょっと面白い、しかし、実に厄介な重要な宿題に出会っているのではないかと考えられるからである。

例えば、写真1は、綿織物・毛織物などの起毛処理のための天然素材、オニナベナの実 (チーゼル) のデジ



写真1 オニナベナの実のデジタル画像のエッジ  
(チーゼル teasel/ 起毛処理のための天然素材)

タル画像である。このチーゼルの輪郭エッジは？ 背景のキーボードからみて、羽刃の微細な小エッジも、軸索部分の明瞭な大エッジも、見ればすぐ分かる、とわれわれは認識している。しかし、このデジタルデータは、RGB 各色について 8bit の整数値が整列しているだけのもの、エッジ線記述はどこにも明示的に記録などされてはいないではないか！

結論から言うと、同じ画像技術の体幹部を作っていないながら、平滑化手法は物質現象世界に (強いて言えば、人の視覚生理現象世界にも) 関わるが、一方、エッジ検出は、優れて人の認識現象に関わっていて、互いに一線を画するとも言えるべきで、課題の所在地がどうも違ってい

# 第5話 大局視覚とHough変換

## Hough Transform for Implementing Global Vision

### ◆1. 序

第5話では、数ある画像処理手法の中でも少し有名なところ、Hough変換を取りあげ、

『Hough変換と大局視覚実装について  
-ヒト視覚とコンピュータ視覚強化作戦-』

をテーマにする。

Hough変換は、画像中の直線(群)がノイズに埋もれて見え隠れしたりブツブツに途切れていても、鳥瞰するがときやり方で視野もしくは画像の全体を大局的に観察して、尤もらしい判断によりそれらを検出することができる。画像をこのように鳥瞰的に観察する手法群を「大局視覚(Global Vision)」と総称したりするが、このHough変換は、この意味で大局視覚実装の素材として大きな魅力と可能性をいまもって湛えているように感じている。

そこで、すでにその基本形がそこそこに整っているにもかかわらず、このHough変換についてその強化、深化、効率化(高速化、省メモリ)、さらには抜本的拡張という諸課題に目を遣って、その実利用を促すための展望を試みる。また、これに加えて、Hough変換の基盤をよき意味で揺るがして、その基本形を深化させ拡張させる可能性を思いきり議論するつもりである。キーワードは、PLHT (Piece-wise Linear HT)、FIHT (Fast Incremental HT)、拡張変換関数 EHT (Extended HT)、代数学でいう全単射関数 (onto/one-to-one function) などである。

ところで、Hough変換は、画像技術のなかでも、そ

の実現、その実装に宿命的に難儀を強いられたままの大局視覚技術の中であって、高いポテンシャルを感じさせる数少ない実技術の1つである。戦闘力不足である現実をも顧みず、大局視覚の心細い実情を打開する策がこのHough変換にないものか、まさに焦眉の課題であると考えたい。Hough変換の数理的性質に根拠をいただくにしても、ヒト視覚(Human Vision)の仕組みに力を借りるにしても、万策を講じて、何としてもこの課題を打開する機会としたい。

このようなモチベーションの背景は2つある。多岐にわたる画像技術のど真ん中にて、エッジ検出手法(例えば、本書、上巻第2部第3話)をはじめとする画像処理手法の基盤はどう考えても未熟であって、その実力強化と品質向上は、広く社会の、特に産業社会の多方面の現場から求められているからである。ここを打開し掘り下げる上で、数理的知見を総動員するのは言うまでもないが、常に、ヒト視覚とコンピュータ視覚をいつも併置して切磋琢磨させることかと考えている。もう1つある。CNNに代表される画像機械学習・認識からのインパクトがいよいよ明瞭になってきて、画像処理手法の強化の新旗手となっている昨今こそ、既存の物質科学的画像技術をおおいに磨くべき絶好のチャンス到来のような気がする。

++

その意味から、以前開催された学会(DIA2019/小倉)で好例に出会った。写真0は、Hough変換をその基本技術の基盤に据えた、ICT画像解析の意欲的な取り組み(静岡大学 大橋研究室)である。その意欲的、と