

【事例講演 2】

認知情報処理のデータサイエンス

福井大学 学術研究院工学系部門 教授

高田 宗樹 氏

1.自己紹介

私の所属は非線形科学研究室で、非線形システムという、手っ取り早いのがやはり生体情報です。それに限らず研究対象にしていますが、最近の研究室では、生体システムをよく扱っています。冒頭で私と当研究室の紹介をさせていただいてから、教材の話を幾つかさせてもらおうと思っています。

私の出身は応用数学畑で、数理モデルや非線形解析を使った時系列データの処理をしています。研究室では立体映像や、脳神経系・体平衡系の認知が伴うデータを実際に取り、いろいろな考察をしています。



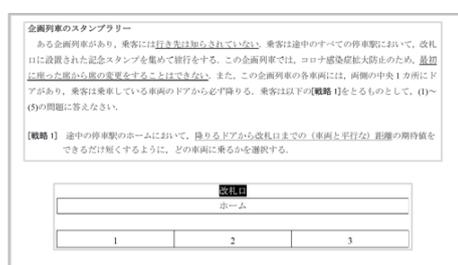
1.-1 都市デザインと数学

所属学会は IEEE の情報科学分野の部会、形の科学会、日本衛生学会などです。ポスドクのころは医学部におりましたので、この辺を今でも活動領域にしています。北陸地区では物理学会や生体工学会でお世話になっており、関連の先生がいらっしゃるかもしれませんが、よろしく願いいたします。その他、私は数学出身なので、日本数学コンクールや、ひらめき☆ときめきサイエンス事業を誘致しまして、高大接続教育にも少し尽力しています。

数学コンクールでどんな問題が出ているかという、これは一側面ですが数学オリンピックとは少し毛色が違い、身近な話題を使ってなるべく中高生が定式化できるような土台をつくり、答えのないような部分を含めて問うようなスタイルで、論文賞の懸賞問題の他に、朝 10 時から夕方 4 時まで 6 時間ぐらいの時間を取って個人戦と団体戦を企画してやっています。最近では映画館のどこから見たら迫力ある映像として見られるかなどを作題しております(1.-1)。

今年はコロナ禍で、表彰式も卒修論の時期になり、この間、以下の解説をやったところです。今年出題したものも、例年通り問題文が 2 ページほど続くような問題になっています(1.-2)。

(1.-2)は今年出した問題ですが、作題の意図をお話しすると、「オリンピックイヤーだったはずが・・・」ということで、外国のお客さんが、東京にたくさん来られるはずだったことに端を発します。外国のお客さまが都内を移動するとき、大体地下鉄に乗ると思いますが、通常は、降りる駅の改札口がどの位置にあるのかは分かりません。われわれが地下鉄に乗る場合は、降りる駅の改札口の位置を考えて、車両を探して乗ると思います。そこで、特定の車両が混み合わないような改札口の配置は、どのようにしたらいいかということのを定式化するために、臨時列車で旅行して巡っていくタイプの企画列車を用意して、改札口付近に置いてあるスタンプを集めていくようにすると、改札口までの移動距離の期待値はどうなるのかを問う問題のスタイルを考えました。



1.-2 企画列車のスタンプラリー

まず、改札口を 1 つだけ配置する場合から考え、できるだけ問題を単純化して、車両の中央部にしか出入り口がないとか、移動するにはホームの横方向だけ移動するというように、できるだけ単純化して議論できるように問題を設定しています。

いろいろな戦略がある中で、皆さんもよく見かけられると思いますが、乗客の戦略に立つと、改札口が等確率に配置される場合、中央部の車両の方が得なわけです。お客さんは中央部の車両に乗りやすく、両端の車両にはあまり乗っていないようなことが見ら

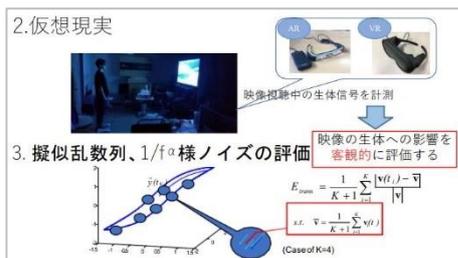
れると思います。そういった中で、お客さんを均質に分布させるにはどうしたらいいかという計算をやってもらいます。これはプラレールの車両ですが、中央にドアがある車両が実際にもあります。問題を割と限定的にして、プラットフォームに沿った車両に平行な移動距離だけを議論します。これでも一応、いろいろな命題・定理が立てられ、必要十分な条件で改札口をこのように設定しないとイケないという議論ができます。対象は全国の中高生で、応募してきてくれる子のレベルからすると、1日の間でもこちらが想定していたよりすごい解答をする子も、中には1人、2人出てくる感じです。

次に、私の研究室の紹介を若干して、教材の紹介をしたいと思います。

2. 生体システムのシミュレーション

生体システムのシミュレーションということで、特に私たちの研究室ではバランス感覚(所謂、体平衡系)を主な題材として取り組んでいます。皆さんに目をつぶって立ってもらいと、ふらふら揺れます。実際の会場ならやってもらえばいいと思うのですが、その揺らぎを時々刻々、足圧中心のデータを取ります。耳鼻科では1分間、目を開いた状態と閉じた状態で検査するわけです。これを重心動揺検査といいます。

これがなぜかというのはあまり究明されていないのですが、耳の奥の耳石器の中で傾きに応じて炭酸カルシウムが転がって、自分がどのように傾いているかを知るためのセンサーが構成されています。耳石器の毛の生え方は非常にランダムになっています。これはかなり希少な電顕の写真で、共同研究者の方から頂戴して使っています。実はセンサー(毛)自体がかなりランダムな方向を向いていて、その合計で人間が認知しているというプロセスがどうもありそうで、このようなところから体平衡系の素過程にみられる無規則性が端を発しているようです。



2-1 仮想現実・擬似乱数列、 $1/f^\alpha$ 様ノイズの評価

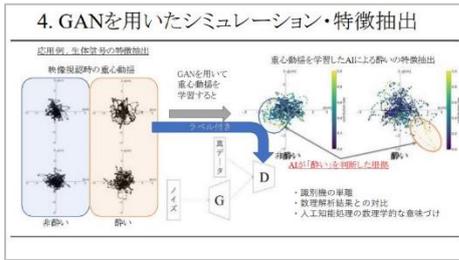
これがシミュレーションのデータです。確率微分方程式でシミュレーションしているのですが、ノイズ

を工夫せずに混ぜると、このようなギザギザが出てきてしまうようなタイプの話です。いろいろ工夫していくと、現実のプロセスに近いものが出てくるようになります。

実際、次の話で出てくるような仮想現実(2-1)に限らず車酔い、アルコールで酔うなどいろいろあるわけですが、酔いが出てきたときに、ああいったプロセスを見て検知します。人間は耳の奥の器官に前庭-自律神経系という、気持ちが悪くなる酔いに直結した神経路があります。そういった考察から、体平衡系に如実に影響が出てくるようなことがあります。しかし、酔いが軽度なうちは、目を開けていると視覚からの情報で人間の姿勢が保持されるので、目を開けている間は酔っているかどうか割と分かりにくいのです。それで数理モデルまで組み込んだような凝った解析をしないと、なかなか区別できない部分が出てきますので、このようにノイズを工夫して評価するようなことをしています。

こちらは競争的ニューラルネットワーク (GAN) で、ニューラルネットワークを二つ組み込んだものです(2-2)。生成機と識別機からなるような二つのニューラルネットワーク系を用いて、酔いや酔いにくい3D映像と酔いにくい映像を被験者に負荷してとった重心動揺で識別機を学ばせておき、これを模擬するような運動過程を生成器で作ります。学習過程ではできるだけだまされないように識別器は鍛えられていき、生成器はだますように鍛えていくという二つのプロセスを経て、生成器から出てくるシミュレーションがだんだん、もとの計測データに近づいていくといったことがあります。負荷映像に関する実験条件のラベルを付けて機械学習を行い、シミュレーション結果を識別させます。

GANを使っている理由は、識別機を単離して、それを単体で識別させるのに使うことができるからです。あるいは酔いをラベル化したものを見つけ出すときに、結節の最後の部分の対比で重みが出ているところの波形を拾ってくると、人工知能が何をやっているのかが理解できてきます。大体ブラックボックスになりがちなのですが、そのような解析をして、僕が学生のころにやっていた、酔いで引っかかってくるのはどこかということを出る数理アルゴリズムがあるので、そういった解析結果との比較を通じて、人工知能の数理的な意味付けを狙っているところがあります(2-2)。



2.-2 GANを用いたシミュレーション・特殊抽出

当研究室の学生が学生の活動としてやっている、ビジネスプランコンテストというのがあります。(2.-3)は福井でよくやっているものですが、京都でやっているテクノ愛にも出向いてきました。酔いの検出システムとしてこのようなものがあるとか、あるいは立ち上がり試験といって、高齢者はだんだん運動機能が落ちてくるわけですが、40cm程度の座面の高さから立ち上がる時に、うまく立ち上がれるかどうかを自動検出するシステムを考えたり、提案型でいろいろ活動してくれています。



2.-3 学生の活動

少し話が長引いていますが、次に、講座の周りの先生方とお話をして、ひらめき☆ときめきで使っているような教材、あるいは研究の見通しを立てる上で、僕が学生を指導するときに、いつも気にしている部分を教材化したものがありますので、それを聞いてもらおうと思います。

3. 知能システム工学講座の教育研究

知能システム工学講座はヒト・生命、コンピュータ、メカトロニクスという3領域の教員から構成されていて、その境界領域を探求しているといったところです。

この後スライドがありますが(3.-1-3)、特にわれわれの講座では創造演習という科目を3年生に設置しており、人の脳・筋・知覚を模擬してメカをつくったり、逆にメカから人をアシストしてもらったり、ユーザビリティを考えていこうという志でやっています。

環境が作用すると、このあたりが適応制御を考えていかなければいけない部分で、創造演習では移動ロボットの開発を3年生の1年間で30週、正規の教

員としては3名ぐらいでやっています。僕も赴任した当時は持たせてもらっていたのですが、最近は講義する方が人手不足で講義する側に回っていますので、バックアップの教員が2~3人いるようなコマになっています。私も大体毎週行って、日誌を見て話をしています。

使えるマイコンは、ここ2~3年は(3.-1)でやっていますけれども、少し前はH8マイコンでやる授業でした。



3.-1 利用できるマイコン

こういったものを支給して、ラインレースロボットを動かしたり、年によって課題を変えたりしています。写真(3.-2)は、時間を計り、1月の下旬に最終走行会をやってもらっているところです。合格ラインが決まっていて、その基準をクリアできないと留年になってしまうという必修単位です。今年は特にコロナで、少々簡単な課題設定で(3.-2)のタイプのラインレースロボットを製作してもらいました。この十字路が“可”を出す基準になっているのですが、この後のコースは曲率が大きいところがあり、決められた時間内にスタート位置まで戻ってもらいます。大体1分強で戻ってくると思います。

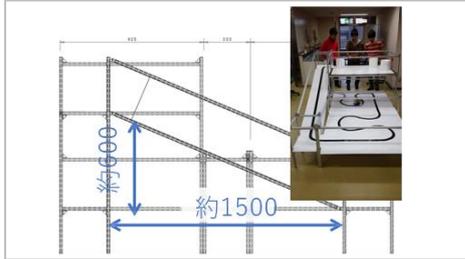


3.-2 ラインレースロボット

この辺をやると時間を食ってしまうのですが、これは相撲ロボットです。円形の台の上に標的の円筒を用意し、任意の配置から落としてもらいます。

この辺から環境が少し変わってくる部分で、適応制御が出てこないといけなところ。年によって違いますが、1階から始めて坂道の通路を渡ってもらい、上に相撲ロボットでやったときの標的が置いてあるわけです。ここで全部落としたら終わりとか、

逆に上から始めるといったことをしてもらっています。人が立っているのでスケールは大体分かっていたらと思います、ロボットにとってはそれなりにきつい坂です(3.-3)。



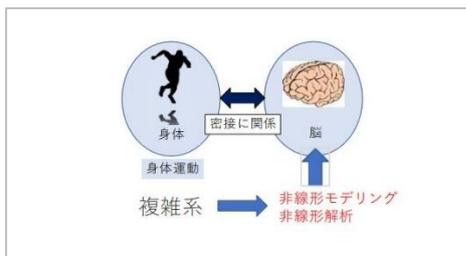
3.-3 トレースコース

われわれの学科では知能を中心に据えて、知能とは何かを考えているわけですが、当研究室では今年、将棋の AI をやっていた子がいました。特に最近藤井聡太君が活躍しており、流動性知能、結晶性知能というのが言われています。

流動性知能は推論、思考、暗記、計算力など、藤井君が最も優れている部分だと思えますが、集中力も流動性知能の一つであり、独創的なアイデアが生まれる可能性もあります。問題解決能力は、これでこなせるということです。新しいことを知能として定着させるため、加齢による低下が見られることが特徴ですから、年配になってくると、その場で適応する能力が落ちてきます。

一方で老齢な棋士は、言語性と言われていますけれども、過去に得た経験が知能の土台なので、幾年を取っても経験は蓄積されるものです。これらの相容れない知能があるという議論もあります。

とはいえ、知能というのは身体と密接に関係しているもので、先ほどのロボットにもあったように、われわれもそうですが体は複雑系なので、こういうものを理解していくという面においては非線形モデリング、非線形解析が必要になってきます(3.-4)。



3.-4 非線形モデリング・非線形解析

(3.-5)は生体を司る電気活動に関する年表になります。見つけられてから 200 年強です。これはボローニャ大学の前に銅像が建っているガルバニという人で、

当時はボルタ電池で有名なボルタと論争していたような人です。一説によると、奥さんが間違っただけでイオン化傾向の違う電極につながったものを差し込んでしまい、カエルの足がぴくぴく動いたところから、こういうものが発見されたといわれています。ガルバニ自身は人間を制御している動物電気と、ボルタが言っていた、われわれが電気だと思っているものは違うものだと思っていたようですが、そのころから、このような形でいろいろな生体现象、先ほどのご講演でも脳波が出てきましたが、電気活動が見られるという年表になっています。

ヒトで最初に測定された主な生体電気現象

・生体電気 (動物電気)	1771年	Galvani (Italy)
・心電図	1887年	Waller (U.K.)
・表面筋電図	1912年	Piper (Germany)
・胃電図	1921年	Alvarez (America)
・脳波	1924年	Berger (Germany)
	

3.-5 ヒトで最初に測定された主な生体電気現象

当研究室では胃電図の計測もよくやっています。胃の電気活動が経皮的にとれるわけですが、透視画像の運動と胃電図の関わりは文献にも見られています。1 分間に約 3 回といわれていますが、20 秒ペースでゆっくりと胃が動くのに合わせて、ふらふらと動く経皮的な胃の電気活動も観測されるという代物です。

認知情報処理の講義は、3 年次にやっています。生体計測の体験学習などをしてもらうのですが、標本化誤差と量子化誤差、画像なども使って標本化と量子化という計測で出てくる基本的な話です。どれぐらい細かく取らないと見たいものが見えないかという話をしながら、こういった分野で使えるツールを 15 回にわたる講義で紹介しています(3.-6)。

機械・システム工学科ロボティクスコース
3年次：生物ロボットの認知・情報処理
ランダム文字列

- ・標本化誤差と量子化誤差
- ・エリアシングと標本化定数
- ・情報量と情報エントロピー
- ・ランダム文字列
- ・生体計測 (体験学習)
- ・周波数解析と伝達関数解析
- ・生体システムと非線形モデル
- ・フラクタル図形とその計量
- ・パラメトリックな統計、ノンパラメトリックな統計

3.-6 機械・システム工学科ロボティクスコース (3年次)

4.仮想現実の教育への応用：

ひらめき☆ときめきサイエンス

こちらは、特にひらめき☆ときめきサイエンスで

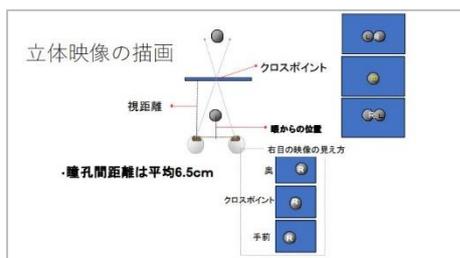
使っているような教材です。視差の体験といいまして、中高生の皆さんに片目をつむってもらい、指の先と黒板に描いた点などを重ねてもらいます。

(4-1)の写真は両目で見ると二重に見えるという話です。遠方を見たときに視差があるので、左目で見ている像と右目で見ている像が少し違うことをびっくりしてもらって体験をするのに、すごく勝手のいい話です。近くに焦点を合わせるともちろん一つに見えますけれど、遠くに焦点を合わせると2本に見えてしまうというものです。



4-1 視差

像の作り方としては、画面から3Dで浮き出たものに対して左目像は右側に、右目像は左側という感じでスーパーインポーズして、右目と左目を制御して、適切な目で適切な像を入れてやると、そのように見えるという話をします(4-2)。



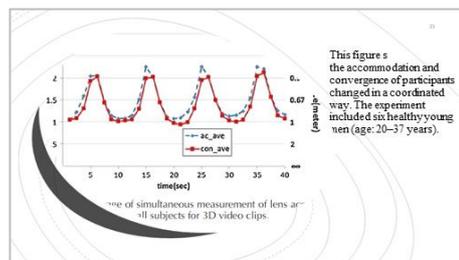
4-2 立体映像の描画

これは当研究グループで見つけ出した話ですが、立体的なものを見るとき目の機能は二つあります。レンズの厚みを変える水晶体調節と、寄り目にする輻輳(ふくそう)調節というものがあります。輻輳で寄り目にして見るようなところがあります。一方、水晶体調節の方は、毛様体筋群と呼ばれる筋肉を使ってレンズの形を変化させます。近いところばかり見ているとあまり動かなくなり、あるいはレンズ自体が凝り固まってきて近視になるわけです。

立体映像を見たときにこの部分がどうなっているかには世界的な通説があり、今でも結構信仰されていると思いますが、水晶体調節では画面にピントが合っているからぼけません。一方、輻輳調節で浮き出てきたものに対して寄り目で見ることになります。

このようなずれがあるので、立体映像酔いが出てくと説明されているわけです。

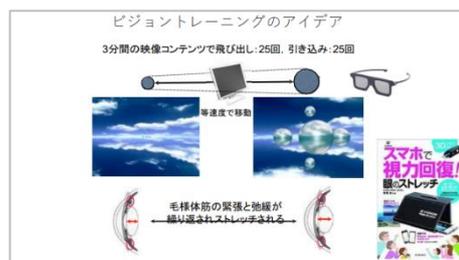
ところが、当研究グループでこれを同時計測する系を作り、計測しました。これは環境にもよりますが、若者から中年まで幅広く、きれいに水晶体と輻輳の調節が一致しています(4-3)。立体映像が10秒周期で周期的に行ったり来たりしている映像を被験者に見てもらっていますが、画面に「ac」と書いてある方が水晶体調節の動きです。画面に張り付いていると、恐らくこの辺に定数関数で出てくるはずなのですが、そのようなことがなく追従しているのが見えます。



4-3 水晶体と輻輳の調節

逆に、水晶体もこれで動くことが分かってきたので、(4-4)を使って3Dでやると省スペース化が図れます。スポーツ・ビジョントレーニングと名付けていますが、このようなことをするコンテンツを作って、近視予防などに使ってもらえるのではないかと思います。近いところを見たり、遠くを見たりするのを、たった3分間繰り返すコンテンツを作って実証実験もしてみたのですが、若者にはかなり効果が高いことを検証しています。

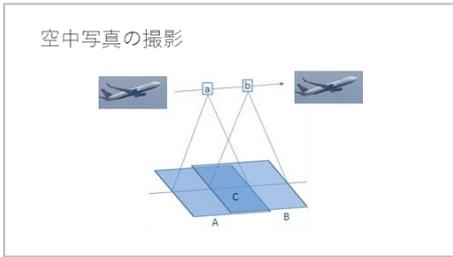
その辺に転がっていますが、こちらは当研究室で作った商品です。ボール紙にスマホを入れ、ミラー越しに3Dで見えるように構成した簡易的なものを用意して、売ってみたという商品です。



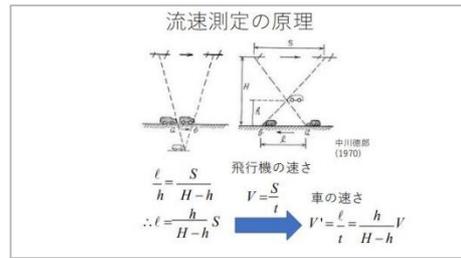
4-4 ビジョントレーニングのアイデア

もう少しよろしいでしょうか。この辺は最初のご講演の青木先生の話にもありましたが、地理的なものによく使われています。

航空写真を60%ぐらいオーバーラップして撮ると立体に見えます(4-5)。



4-5 空中写真の撮影



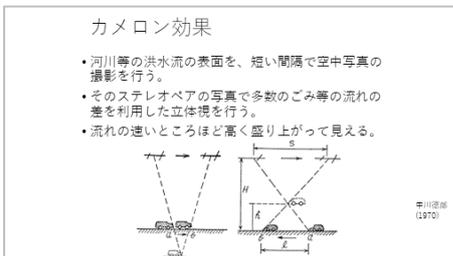
4-8 流速測定の実理

国土地理院関係のホームページに、「皆さん、見えますか？」という教材が置いてあります。実際に見てもらうと楽しめると思いますが、段々畑が”ぐぐぐと”なるのが見える人には見えないと思います。昨日、私も見てみましたが、それなりに迫力のある映像がご覧いただけるとと思います(4-6)。



4-6 ステレオ画像 1

(4-7)は中高生でも分かる三角形の相似です。このようなことを使うと、地面を移動しているような物体 X に対しては、飛行機の速度が分かっていると、簡単な三角形の相似の関係から、物体 X の速度が推定できます。この原理にもとづいて、例えば、河川の流量も分かるというお話です。



4-7 カメロン効果

この場合、車でモデルを立てています。飛行機と同じ方向に動いていると沈んで見えたりしますが、逆方向に動くと、先ほどの 3D の原理で浮き出て見えるという話をしながら、車の速度が推定できるという話ができます(4-8)。

5.研究の見通しを立てる数学・論理学

最後に、数学と物理学に見られる研究の方向性ということで、お話ししたいと思います。数学では必要条件型、現象から観測し、抽出して方程式族を絞っていくプロセスをやります。シミュレーションは逆方向の議論をして、ここからはみ出た原理に対してシミュレーションしても、これと似たようなことが起きることがあるわけです。従って、ここはすごく注意を要するところですが、演繹と呼ばれる方程式族を絞っていくプロセスを重視しています(5-1)。このように観測事実に沿ってやったものに対して、シミュレーションで合っているかという十分性を示さずにやると、全然的外れなことをしていることがあるので注意しなくては行けないという話です。



5-1 数学と物理学

その分かりやすい例が、「末広」という狂言です。ここ 11 年ぐらい、能楽師に就いて、いろいろ習っているのですが、能と能の間に狂言が挟まれます。分かりやすく、今の人でも親しみやすいような話になっているわけですが、「末広」は、果報者(お金持ち)・その家来・すっぱの 3 者が登場し、太郎冠者という家来が主人公です(5-2)。



5-2 狂言「末広」

太郎冠者の取り違えによる失敗談が、この話のストーリーになっています。太郎冠者が果報者に「末広がり」というものを都に買いに行ってくれと頼まれたときに、太郎冠者は「末広がり」を知りませんでした(5.3)。果報者が注文をあまり詳しく示さずに「こういうものを買ってきてくれ」と言ったので、すっぱという詐欺師にだまされてしまうわけです。地紙よく、骨が磨かれ、要がしっかりして、ざれ絵が描かれたもの。この中啓と呼ばれるものが末広がりです、これを買ってきてほしかったのですが、だまされてしまうのです。

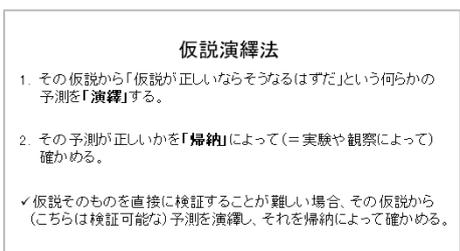


5.-3 あらすじ-果報者の演繹

「ざれえというのは絵ではなく、持ち手の柄のことだ。これは確かに古い傘だが、これは果報者が言っていたものと一緒ではないか」と言いくるめられて、それを買わされて帰ってしまうという話です。演繹を間違っただけで適応した例を「末広」でやっているという話になっているということで、例え話としてこれをやると非常に受けがいいようです。

果報者のところに帰ってきて、怒られて追い出されてしまうのですが、すっぱは、そこでうまく行くように都で流行っている歌、春日大社の三笠山を歌った歌を仕込んでいました。追い出されたときにその歌を歌ったところ一応許してもらい、家に入れてもらえたという落ちが付いている話です。

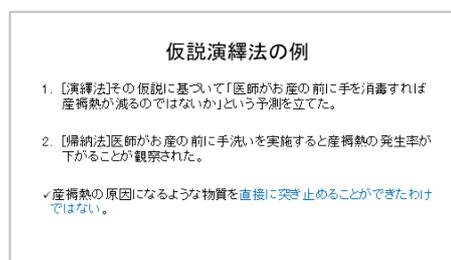
このような仮説演繹法の議論は幾つか知られていますが、そういった手法が大事だということで、幾つかの例え話を学生さんにお話ししています。



5.-4 仮説演繹法

もう時間が迫っているようなので飛ばしていきたいと思っています。これは九大の集中講義に行くときに

作った資料です(5.4)。その後、NHK がすごくいい映像を作っていたので、そちらを見せたらいいと思うのですが、産褥熱のお話です。産婆さんが立ち会っていたお産と医者を取り上げた場合で死亡率が全然違い、医者を取り上げると3倍程度多く死ぬという話がありました。医者が解剖ばかりしていて、血まみれのまま手も洗わずに赤ん坊を取り上げていたという話があるので、イグナーツはそれが原因ではないかという仮説を立てて消毒をさせた結果、その仮説が検証できたという話です(5.5)。



5.-5 仮説演繹法の例

6.まとめ

時間を超えてきたので、まとめに入りたいと思います。今日はデータサイエンス時代の工学教育というお話を頂きましたので、普段の専門のところではなく、教育的なところに沿って、特に授業でやっているコンテンツを幾つか紹介させていただきました。

特に演繹的手法の重要性を言うために、この他にもいろいろな教材があるのですが、例えばプラトンの立体、正多角形からできている立体は五つしかないということもやれますし、統計学は仮説と検証がセットになっているので、一つの手段だと思えます。例えば、二つの属性の関連性をいうための独立性検定などは、一つのいい例だと思えます。これは疫学分野などにも応用されていて、薬の治験だけではなく、食中毒の原因物質を特定するときにも使われていて、いろいろな話が展開できる教材だと思えます。

すみません、時間を少し超過しておりますが、これで話を終わりたいと思います。