

# 2025\_歯科の未来・総合ガイド

2025年11月30日

このビデオは、世界平和統一家庭連合・豊橋教会の夏目保代さんと面談したとき、彼女から、私のホームページ (<https://an-open-letter.com/>) で示している内容について「歯科に関する記事やビデオの内容が、一般の人にとって、どのような意味や価値があるのかわからない」とのご指摘を受け、それを解消するために作りました。確かに歯科医師や歯科技工士でも、歯科用ではない「汎用 CAD」を操作した経験がない人にとっては、以前作った CAD の操作説明のビデオは、わかりにくいものであったと思います。私が望む歯科用ソフトウェアを完成させ、それを実用化・商品化するためには歯科関係者だけでなく、汎用 CAD ソフトウェア会社や AI 技術者たちの協力が必須です。それらの方々にも「新しい歯科用ソフトウェア」を作るために必要な、歯科に関する知識を共有していただきたいとの思いから、このビデオを作りました。また、患者として関わる人々にとっても、「新しい歯科用ソフトウェア」が従来の機材と比較して、経済的にも機能的にも有用であることを知っていただくためにこのビデオを作りました。

## ビデオ・PDF版の目次

**第一章** 咬合学の歴史：モデルから測定へ · · · · · 2

**第二章** あなたの口の中で起きた、60年前の革命 · · · 8

**第三章** ナソロジー：完璧な咬み合わせの設計 · · · · · 14

**第四章** 顎の動きの真実：全運動軸の探求 · · · · · · 21

**第五章** 歯科治療のパラダイムシフト：仮想運動軸法 · · · 31

**第六章** ナソロジー2.0：AIが創る歯科の未来 · · · · · 49

**第七章** 科学・宗教・天皇の統合 · · · · · · · · 59

## 咬合学の歴史：モデルから測定へ



こんにちは。人間の咬み合わせ、つまり咬合についてです。科学が、その謎をどう解き明かしてきたのか、今日は、そのちょっとスリリングな探求の歴史を、一緒に辿っていきましょう。



例えば、歯にクラウンを被せたり、入れ歯を作ったりする時ってありますよね。歯医者さんって一体どうやって正しい噛み合わせを見つけ出しているんだろうって思いませんか。実はその裏側には 100 年以上にも渡る壮大な科学の物語が隠されているんですよ。

もし、あなたの噛み合わせをゼロから作り直すとしたら？

# 1 なぜ咬合学は必要なのか？

補綴治療の目標実現のために

© NotebookLM

では早速、掘り下げていきましょう。そもそもどうして咬合学なんていう専門の分野が必要になったんでしょうか。その出発点は多くの人が直面する、ある、うん、かなり深刻な問題にあったんです。

歯を失った時のドミノ倒し

1. 歯が1本抜け  
る  
A single tooth is lost.

2. 残りの歯が動  
き始める  
The remaining teeth begin to shift.

3. 歯列全体が崩  
壊する  
The entire dental arch collapses.

たった 1 本歯を失う。それが引き金になってまるで、ドミノ倒しみたいに残りの歯がどんどん動き出して、終いには、歯並び全体がガタガタに崩壊してしまう。こうなると、もうどこが正しい噛み合わせの基準だったのか、完全に分からなくなってしまうんですね。



咬合学は、崩壊した噛み合わせを再建するための、いわば『設計図』の役割を果たします。



© NotebookLM

そこで登場するのがこの咬合学なんです。この学問が、崩れてしまった咬み合わせを0からもう1度作り直すための、いわば設計図の役割を担っているというわけです。

# 2

## 歴史は「総入れ歯」から 咬合学の原点

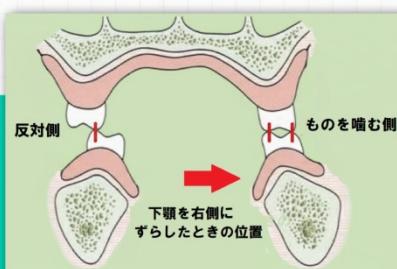
© NotebookLM

さて、この咬合学の歴史を遡ってみると、ちょっと意外なものに突き当たるんです。その原点は歯科医療の中でも、特に難しいと言われる課題の1つ、総入れ歯を作ることだったんですね。



基準となる歯が一本もない患者のために、安定した総入れ歯を作ることが最初の大きな課題だった。

ちょっと想像してみてください。全ての歯を失ってしまった患者さんのお口の中には、咬み合わせの基準になるものが、もう何ひとつないんです。当時の歯医者さんたちは本当に暗闇の中を手探りで進むようにゼロから噛み合わせのルールを発明しなきゃならなかったんです。



## 3点接触の理論

ポンウィルが提唱。食事中に総入れ歯が傾かないよう、両側でバランスよく接触させる理論。

そこで生まれた初期の素晴らしいアイデアがこの3点接触です。例えば右側で噛んでも反対の左側でもう1点がちゃんと接触する。たったこれだけで入れがガタッと傾いて外れちゃうのを防ぐ。すごくシンプルで実用的な知恵ですよね。

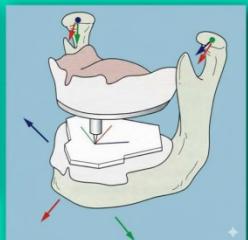
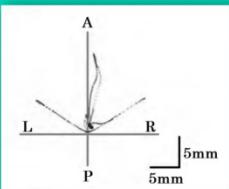
# 3

## モデル的理論の時代

巨匠アルフレッド・ギージー



そしてここで物語の最初の巨人が登場します。彼の名はアルフレッド・ギージー。彼の革新的なアプローチは、複雑で混沌として見える顎の動きを、1つの美しい理論的なモデルで説明しようというものでした。

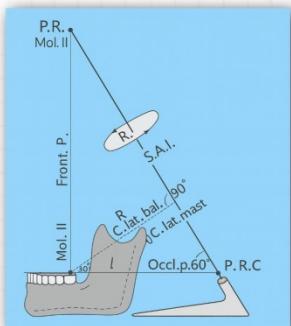


### ゴシックアーチ

ギージーが考案した下顎の運動記録法。その形がゴシック建築の窓枠に似ていることから名付けられた。

ギージーを象徴するのが、このゴシック・アーチっていう手法です。患者さんに顎を自由に動かしてもらうと、その軌跡がまるで、ゴシック建築の教会の窓みたいな鋭い矢印を描くんですね。彼は、この矢印の先端こそが、顎の動きの基準点なんだ、と考えたわけです。

### 軸学説



複雑な顎の動きを、移動成分ゼロとみなし、理論上の軸を中心とした純粋な回転運動として単純化した。

ここが、ギージーの本当にすごいところです。彼の「軸学説」は、一見カオスな顎の動きから、前後にずれたりする移動の要素を、もう、ぱっさりと切り捨てたんですね。そして顎の動きっていうのは、ある1点を中心とした純粋な回転など、ものすごく大胆に単純化したんです。複雑な現実を、エレガントなモデルで解き明かそうとする、まさに画期的な発想でした。

### ギージーの時代

1895年

1912年

現在

チューリッヒ大学の教授に就任。

軸学説に基づき「シンプルレックス咬合器」を開発。

理論は過去のものとされたが、彼が開発した道具の一部は今なお使われている。



© NotebookLM

ギージーのこの理論と彼が開発した「シンプルレックス咬合器」っていう装置はですね、その後、何十年にもわたって歯科の世界を席巻しました。特に、総入れ歯の世界では、彼の考え方方が絶対的なスタンダードになったんです。

“世界中で、軸学説というものは過去のものということになっています。

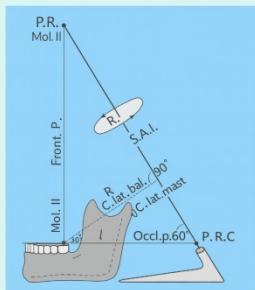
しかし、物語は、ここで大きな、本当に大きな転換点を迎えます。あれほど絶対的だったギージーの理論が、今では過去のものとされている。えー、一体何が起きたんでしょうか。

# 4

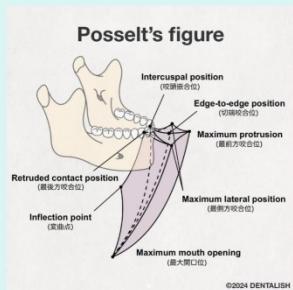
## 「測定」の時代へ

理論から実際のデータへ

物語の転換点、それは理論の時代からデータの時代へ。つまり理想を語るんじゃなくて現実をありのままに測定する時代への大転換だったんです。



ギージー：顎が『どう動くべきか』という理論的なモデルを作成した。



ポッセルト：顎が『実際にどう動くか』を測定した。

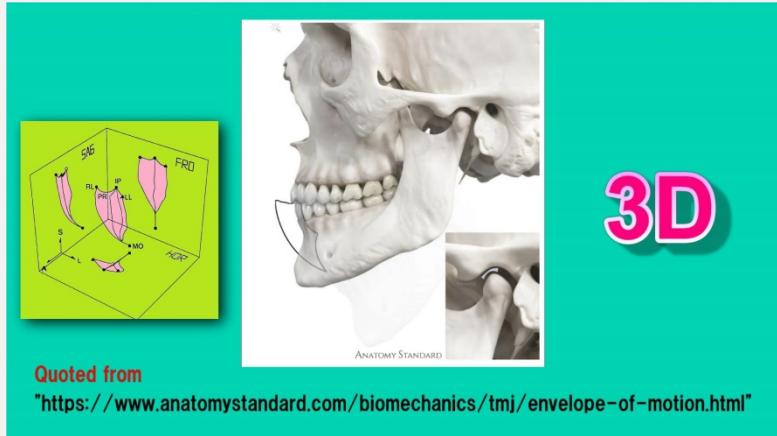
まさに、このスライドがその根本的な違いをズバリと言いますよね。ギージーが顎はこう動くべきだという、理想のモデルを追い求めたのに対して、次の世代はすごくシンプルに、いや、実際どう動いているか測ってみようよって考えた。この発想の転換が、全てを変えたんです。

スウェーデンのウルフ・ポッセルト教授は、理論ではなく、顎の可動域全体を実際に測定する道を開いた。



© NotebookLM

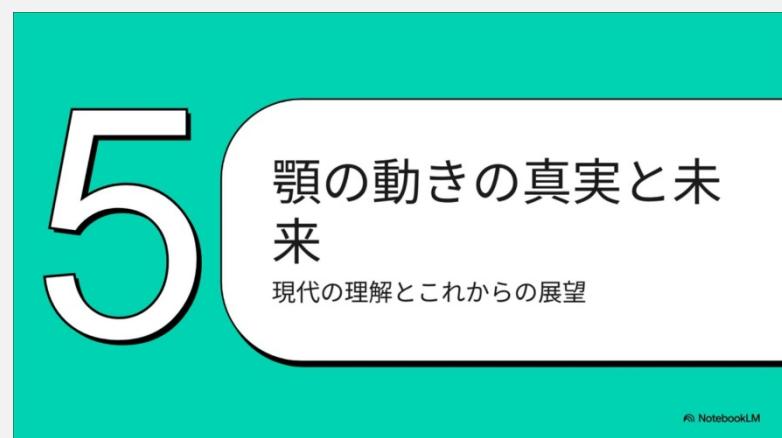
その革命の中にいたのが、スウェーデンのウルフ・ポッセルトという人物です。彼は、エレガントな理論とは正反対の、地味で膨大な測定を、何度も何度も繰り返すことで、顎の動きの真実に迫ろうとしたんですね。



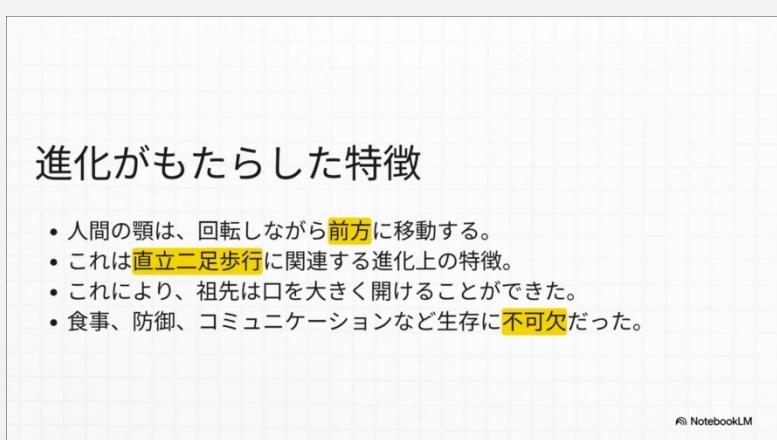
そして、ポッセルトが成し遂げた最大の功績、それは、それまで誰もできなかった、顎の複雑な動きを、3次元で立体的に完全に捉えることでした。これ、技術的にも、とてつもないブレイクスルーだったんですよ。



そして、これが彼の最も有名な発見「ポッセルトの图形」。下の前歯の先端が動ける範囲を、全部記録すると、こんな立体的な形になることを突き止めたんです。その形からついたあだ名が、なんとスウェーデンのバナナ。この親しみやすい名前もあって、彼の功績は世界中に広まっていきました。



さて、ギージーからポッセルトへと続くこの探求の旅は、現代の私たちの理解に一体何をもたらしたんでしょうか。そしてこの物語はこれからどこへ向かうんでしょうね。



現代科学が明らかにしたのは、私たちの顎の動きが、人類の進化そのものと、ものすごく深く関係しているっていう事実なんです。口を開く時、顎が、ただ、くるっと回転するだけじゃなくて、すっと前方へスライドする。このユニークな動きこそ、直立二足歩行を選んだ私たちの祖先が、生き残るために手に入れた、絶対に欠かせない能力だったんですね。

咬合学の歴史とは、観察し、測定し、動きの根源的なルールを発見しようとする探求の旅だった。



© NotebookLM

つまり咬合学の歴史っていうのは、ギージーのような理想的なモデルの探求から始まって、ポッセルのような、地味な測定まで、常に観察して発見するということを繰り返してきた、真理への長い長い旅路そのものなんです。

次は何か？ AIが顎の動きを完璧に再現する日は来るのか？

© NotebookLM

では、この探求の旅、次なる目的地はどこなんでしょうか。いつの日か、AIがこれまでの膨大なデータを全部学習して、1人1人の複雑な顎の動きを完璧に再現してくれる、そんな日が来るんでしょうかね。もし本当に来るとすれば、それは歯科医療の形を根底から変えてしまうことになるかもしれませんね。



[notebooklm.google.com](http://notebooklm.google.com)

## あなたの口の中で起きた、60年前の革命

NotebookLM

### あなたの口の中で起きた、60年前の革命



こんにちは。歯の治療って聞くと、なんだか最先端のハイテク医療っていうイメージありますよね。でも、もしその治療のネックにある技術が、実はもう60年以上も前に完成されたものだとしたらどう思いますか。今日は、そんなあなたの口の中で起きた、驚きの革命の物語です。

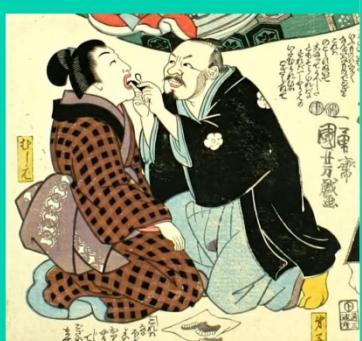


何世紀もの間、歯の痛みの治療法は、赤く熱したワイヤーで神経を焼くことでした。



そうなんです。信じられないかもしれないですが、これが現実だったんですよ。僕たちが今、当たり前だと思っている歯の治療が生まれる前は、もう激しい歯の痛みに対する答えっていうのは、もっと、こう直接的で正直かなり恐ろしいものだったんですね。

NotebookLM



あなたの歯はとても  
状態が悪いです。

日本の場合

# 1

## 歯痛の歴史

苦痛の時代



NotebookLM

人類って、その歴史のほとんどで、歯の痛みにずっと苦しめられてきたわけです。だから歯医者さんの主な役割っていうのは、とにかくその痛みを取り除くこと、どんな手を使ってでもです。

昔：残酷な治療法	今：現代の治療法
赤熱ワイヤーでの焼灼	歯内療法（根管治療）
酸による化学的火傷	精密な神経除去
ヒ素による神経の死滅	局所麻酔による無痛処置

© NotebookLM

ちょっと見てください。昔は熱したワイヤーとか、酸で神経を焼いて、ついにはヒ素っていう毒を使って、神経を殺してたんです。もう痛みを止めるためだけの、まさに力型ですよね。それが今じゃ、歯はちゃんと残したまま、しかもほとんど痛みなく、治療できるようになったんですから。いや、本当にすごい進歩です。

# 2 初期のクラウン

適合性の問題

© NotebookLM

で、痛みを止めるだけじゃなくて、壊れちゃった歯をなんとか修復しようっていう試みも、もちろん始まったんですね。でも、その初期のクラウン、つまり歯の被せ物には、とっても大きな壁が立ちっていたんです。



**帯環金属冠** (たいかんきんぞくかん)

薄い金属板を丸めて帯冠を作り、咬合面を蝋付けして作られた初期のクラウン。

© NotebookLM

その頃のクラウンは帯環金属冠って呼ばれていました。これ、どういうものかって言うと、薄い金属の輪っかを、歯にぐっと巻きつけて、上から金属の板で蓋を半田付けするみたいな感じだったんです。まさに職人さんの手作業だったんですけど、これがまた、問題をたくさん抱えてたんですね。

## 帯環金属冠の問題点

- 製作に膨大な手間がかかる
- 歯の根元との適合性が悪い
- 自然な噛み合わせ面を作れない
- 限定的な局所修復にしか使えない
- さらなる歯周病を引き起こすことが多かった

© NotebookLM

ま、問題は山積だったんですけど、中でも特に致的だったのが、歯の根元との間に隙間ができちゃうこと、ぴったり合わないんですね。で、この隙間がまた新たな虫歯とか歯周病の原因になっちゃって、結局、大掛かりな修復には全然使えなかったんです。

# 3

## 3つの大躍進

すべてを変えた発明

じゃあ、このちょっと不格好なクラウンから、どうやって今の精密な治療に進化したんでしょうか。その答えは、たった1つの発明じゃなかったんです。全てを根本からガラッと変えた3つの大きなブレイクスルーがあったんですね。

© NotebookLM

### 大躍進 #1：どうすれば 金属を歯に完璧にフィ ットさせられるのか？

© NotebookLM

さ、最初の課題はこれです。手作業じゃ、もう絶対無理なレベルの精度で、あの複雑な歯の形に金属をピッタリと合わせるには一体どうすればいいのか。

### ロストワックス铸造法

Taggart (1907) により開発。ワックスの原型を鋳型にして精密な金属製品を作る技術。



© NotebookLM

その答えはなんと宝飾品の世界にありました。1907年に Taggart (1907) という人が歯科に応用したロストワックス铸造法。これが第1の革命です。

#### ロストワックス法

##### 1. 原型作成

ワックスで完璧なクラウンの形を作る。



##### 2. 埋没

ワックス原型を耐熱性の石膏に埋め込む。



##### 3. 焼却

加熱してワックスを燃やし、空洞の鋳型を作る。



##### 4. 鋳造

溶かした金属を鋳型に流し込む。



この方法すごくエレガントなんですよ。まずワックスで完璧な歯の形を作って、それを石膏で固めちゃう。で、熱で中のワックスだけを溶かしてなくすと、そこに空洞ができますよね。その空洞に溶かした金属を流し込めば、あら不思議、ワックスと全く同じ形のクラウンが完成するっていうわけです。

## 大躍進 #2：どうすれば 金属の冷却収縮を防げ るのか？

でも、ここでまた新しい問題が出てくるんです。金属って熱い液体の状態から冷えで固まる時に、ほんのちょっとだけキュッと縮んじやうんですね。せっかく完璧な型を作っても、出来上がりが小さくなっちゃったら意味ないですよね。

### クリストバライト埋没材

耐熱性のある特殊な石膏。鋳造時の金属収縮を補償するために開発された。

この頭の痛い問題を解決したのが、第 2 のブレイクスルー、クリストバライト埋没材。これはですね、熱を加えると、なんと膨らむっていう、特殊な石膏なんです。

 埋没材の膨張が、冷却される金属の収縮を相殺し、精密な適合を可能にする。

つまり金属が縮む分だけ、あらかじめ鋳型の方をちょっとだけ膨らませておくっていうことなんですね。この逆転の発想のおかげで、冷えて固まった金属が、設計通りの完璧なサイズになる。いや、これ考えた人、天才じゃないですか

## 大躍進 #3：どうすれば 歯を痛みなく、迅速に 削れるのか？

さあ、これで完璧なクラウンを作る技術は手に入れました。でも、まだ最後のピースが残っています。そのクラウンを被せるために、患者さんの歯をどうやって素早く、そして痛みなく削るのかっていう問題です。

## 高速切削法

エアータービンとダイヤモンドポイントによる切削法。患者への侵襲を少なく歯の形成を可能にした。



© NotebookLM

その答えが皆さんもよくご存知の、あの歯医者さん特有のキーンっていう音。そう、第3のブレイクスルーは、エアータービンによる高速切削法です。空気の力で刃をものすごい速さで回転させるこの技術と、硬いダイヤモンドの歯が登場したことでの歯を削る作業が劇的に早く、そして正確になったんです。

# 4

## 1960年代の革命

現代歯科の幕開け

© NotebookLM

そして1960年代、ついにこの3つの発明が1つになって、僕たちが今、受けている現代の歯科医療の基礎がここで完成したわけです。



セラミッククラウンの基礎技術



これらの技術革新が、歯に完璧に適合する  
一体型の金属冠、全部鋳造冠を可能にした。

© NotebookLM

こうして生まれたのが、この全部鋳造冠、いわゆるフルキャストクラウンです。これはもう張り合わせじゃなくて、鋳造で作る一体成型の精密部品。それまでのものとは次元が違うものだったんです。

# 60+

© NotebookLM

そうなんです。この一連の技術革新が起こってから、もう60年以上が経ちました。今や世界中の、本当に何百万人もの歯を救っているこの技術っていうのは、実は僕たちの親の世代に確立されたものだったんですね。

“クラウンやブリッジが咬合学の対象として表舞台に立つようになった。

しかも、この技術のインパクトは、歯を1本救うってだけじゃなかったんです。歯を確実に修復できるようになったことで、初めて咬み合わせ全体、つまり咬合っていうものを科学的に研究して治療する道が開かれた。歯科医療そのものを、次のステージに押しやれたわけです。

© NotebookLM



[notebooklm.google.com](http://notebooklm.google.com)

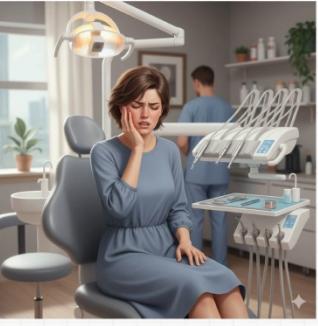
## ナソロジー：完璧な咬み合わせの設計

© NotebookLM

# ナソロジー：完璧な咬み合わせの設計



A digital illustration showing two dental arches, one upper and one lower, with various colored teeth and orthodontic braces attached.



A digital illustration of a woman sitting in a dental chair, looking uncomfortable or in pain. A dental light is positioned above her head.

あなたは自分の顎を「機械」と  
本気で考えたことがありますか？



Two close-up photographs of dental arches. The left image shows the upper arch with a dark, textured surface. The right image shows the lower arch with white, straight teeth.

元々の設計図が失われた時、  
どうやって笑顔を再構築しますか？

### ナソロジー (Gnathology)

顎のシステムを機械とみなし、理想的な機械モデルに基づいて咬み合わせ全体を再構築することを目指す哲学。



A magnifying glass icon is positioned next to the word "Gnathology".

人間の顎。これって単に顔の一部っていうだけじゃなくて、実はものすごく複雑で精密に作られた機械みたいなものなんです。今回はですね、その機械の謎を解き明かす、ナソロジーっていう世界に、皆さんをご案内しようと思います。これ何かと言うと、完璧な咬み合わせを、文字通りゼロから作り直すっていう、歯学の中でも1つの壮大な哲学なんですね。

まず、ちょっと想像してみて欲しいんですけど、目の前にいる患者さんの歯が、もう長年の間に、すっかり、すり減っちゃってると。本来あったはずの、咬み合わせ、いうなれば人生の初期設定みたいなものが、もう完全に消え去ってしまった状態。

さあ、もしあなたが歯医者さんだったらどこから始めますか。何の基準もないんですよ。まさに、だだっ広い海の真ん中に、ポンと放り出されたようなもんですよね。当てずっぽうで歯を作るわけには絶対にいかない。このシステム全体を、ゼロから設計し直すっていう、とんでもなく難しい問題に、科学の力で立ち向かうために生まれたのが、このナソロジーっていう考え方なんです。

ナソロジー。その名前はギリシャ語のグナトス、つまり顎とロジー、学問を組み合わせた言葉です。でもこれは、ただ顎の構造を学ぶだけの学問じゃないんですね。顎の関節から筋肉、そして歯に至るまで、そのシステム全体を1つの精密機械として捉えて、理想的な機械のモデルを基に、完璧な機能を取り戻そうじゃないかっていう壮大な哲学なんです。

# 1

## 1. 完璧な咬み合わせ の再構築

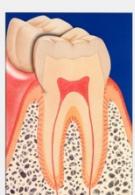
精密さへの挑戦

1920～

NotebookLM



**入れ歯:**柔らかく動く歯茎の組織が支える。  
絶対的な精度よりも安定性が優先される。



**クラウン&ブリッジ:**歯と骨に直接固定。  
わずかな誤差が顎関節に直接ストレスをかける。



Dr. Harvey Stallard

Dr. Beberly McCollum

答えは、マッカラム博士とス  
タラード博士による、全く新  
しい革命的な哲学でした。



NotebookLM



ANATOMY STANDARD

顎の運動の設計図は、外部の機械ではなく、身体の内部から得られなければならない。

<https://www.anatomystandard.com/biomechanics/tmj/envelope-of-motion.html>

り顎の関節そのものに、ちゃんと刻まれてるはずだと。

では早速、最初のセクションです。時代は1920年代。クラウン・ブリッジの時代は、もう全然話が違う。歯にセメントでがっちり固定しちゃうから、遊びが全くない。なぜ、ほんのわずかなずれも許されなくなつたのか。まずはその背景から見ていきましょうか。

このスライドがその違いをバシッと見せてくれてますよね。左の入れ歯っていうのは、ま、言ってみれば、ふわふわのクッションの上に乗ってるようなものなんです。だから多少の遊びが許される。でも右のクラウンは全然違う。もう、骨に直接ボルトで固定されてるようなものですよ。だから設計図がちょっとでも狂ったら、その衝撃どこに行くと思います。そう、顎の関節にダイレクトに、ガツンと来ちゃうわけです。

じゃあ、どうすればこの脅威的なレベルの精度を達成できるのか。その答えは2人のアメリカ人歯科医師、マッカラム博士とスタード博士からもたらされました。彼らの答えは、単なる新しい技術じゃなかったんです。人間の顎に対する全く新しい見方、つまり1つの哲学だったんですね。彼らはそれにナソロジーと名付けました。

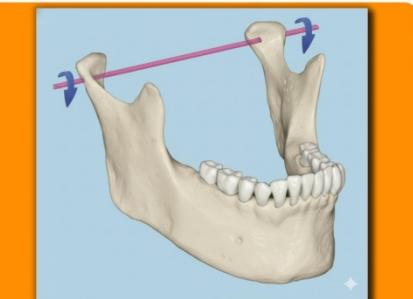
彼らは、それまでの常識に対して、根本からNo, を突きつけたんです。これが彼らの哲学のど真ん中です。当時だって、例えばギージーの軸学説みたいに、体の動きの設計図が体の外にあるんだ。でもマッカラムたちは、いやいや、それは根本的におかしいんじゃないって、考へたわけです。だって、なんで体の動きの設計図が体の外にあるんだって。本当の設計図は患者さん1人1人の骨格、つまり

# 2

## 2. 不変の基準を探して

骨格の設計図を見つける

© NotebookLM



ヒンジアキシス(蝶番軸)

下顎が純粋な回転をした時の、  
左右の下顎頭の中心点を結んでできる仮想の回転軸。

© NotebookLM

さあ、ここからがナソロジーのすごいところです。このとんでもない難問を一体どうやって解決しようとしたのか。彼らが考えたのはグラグラ動く歯じゃなくて、もっと確固たるもの。そう、体の中にある絶対に動かない基準点。言うなれば人体の北極星みたいなものを見つけ出すことだったんです。



### 中心位

歯の接触とは無関係に決まる、頭蓋骨に対する下顎骨の基準となる位置関係。

<https://www.anatomystandard.com/biomechanics/tmj/envelope-of-motion.html>

© NotebookLM

でもって、もう 1 つすごく大事なのが、この中心位っていう考え方です。これはもう一言で言うと「顎の工場出荷時設定」みたいなもの。例え、歯が 1 本もなくとも、骨格だけで決まる 1 番リラックスして、安定してる理想的なポジションのことですね。だから治療する側としては、まずこのリセットボタンを押して、全ての治療をこの基準点からスタートさせたかったんです。

# 3

## 3. 顎の動きを地図に描く

機械による探求

© NotebookLM

さあ、理論という設計図はできました。じゃあ、次はいよいよ実行編です。目に見えない、こんな複雑な動きを一体全体どうやって捕まえて記録したのか。ここからはその驚くべきちょっと機械じみた探求のプロセスを見ていきましょう。



ヒンジアキシス・ロケーターは、皮膚上のスタイラス（針）を使い、わずかな開閉運動で回転するだけで移動しない一点を探し出す。

© NotebookLM

で、このヒンジアキシス・ロケーターの仕組みが、また賢いんですよ。患者さんにね、ほんのちょっとだけ、口を開けたり閉じたりしてもらうんです。そうすると、もし、この針の先が軸の中心からずれてたら、コンパスで円を描くみたいに、こう弧を描いて動いちゃう。でも、もしど真ん中、まさに軸の上に針があったら、その点はぶれない。ただその場でくるくると回転するだけなんです。この動かない一点を皮膚の上から、執念深く探し出したわけですね。

この動かない一点が見つかった後、どうやってそれを永久に記録したのでしょうか？

© NotebookLM

ここで、ちょっと考えてみてください。皮膚の上で見つけた、この生涯変わらないはずの絶対的な基準点。これを、どうやって未来永劫を失わないようにしたと思いますか。ペンで書くだけじゃ消えちゃいますよね。



この動かない一点が見つかった後、どうやってそれを永久に記録したのでしょうか？

そう、答えはちょっと、びっくりするかもしれません。なんと、そのヒンジアキシスの点を、患者さんの皮膚にタトゥーとして、永久に刻み込んだんです。これこそが、彼らがこの軸の絶対性を、どれだけ信じていたかっていう、何よりの証拠ですよね。



ヒンジボーを使い、タトゥーで印されたヒンジアキシスと上顎の歯の精密な3次元的関係を記録する。

© NotebookLM

さあ、次に登場するのがこのヒンジボーです。これはもうまるで測量士が使う道具みたいなもの。さっき、タトゥーで印をつけた、あのヒンジアキシスの点と、上の顎の歯の位置関係。この3次元の空間情報を1mmのくいもなく正確にカシャっと映し取るための装置なんですね。



© NotebookLM

パントグラフは、患者が顎を動かしたときのヒンジアキシスの軌跡を描き出し、ユニークな動きの署名を作成する。

そしていよいよラスボス登場って感じのこの大掛かりな装置がパントグラフです。これはですね、患者さん1人1人が持てる顎の動きのユニークな署名。これを映し取るための機械なんです。顎を前に出したり横に動かしたり、その時に、あのヒンジアキシスが描く複雑な軌跡を、この複数の記録紙の上に、まるで地震計みたいに線として描き出していくわけです。

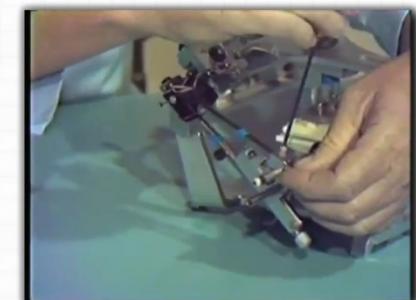
# 4

## 4. 機械じかけの双子を作る

患者から機械へ

© NotebookLM

さあ、ここからが、今まで集めてきたデータの集大成です。あのタトゥーの点、そしてパントグラフが描いた無数の線。これらの情報が、一体どうやって患者さんの機械掛けの双子を作り出したのか、見ていきましょう。



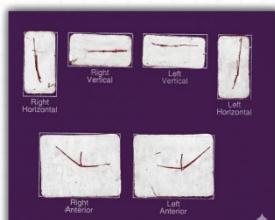
収集されたデータは、患者の顎を模倣する非常に複雑な機械装置である「全調節性咬合器」をプログラムするために使用される。

© NotebookLM

パントグラフで描き出したあの線の情報。あれこそが、この全調節性咬合器っていう、ものすごく複雑な機械を動かすための、いわば設計図になるんです。線の傾きに合わせて、この関節部分の角度を微調整して経路をセットしていく。これって、まさに患者さん1人1人のために行われる、オーダーメイドのアナログ・プログラミングと言えるんじゃないでしょうか。

### 咬合器が可能にすること

- 患者の顎の動きを忠実に再現する。
- 口の外で新しい補綴物を製作する。
- 新しい咬み合わせの調和をテストする。
- 患者不在での調整を行う。



© NotebookLM

このスライドが、その革命的なメリットを物語っていますよね。この咬合器は、もう患者さんの機械仕掛けの双子そのものなんです。これのおかげで、歯医者さんとか技工士さんは研究室にいながら、まるで患者さん本人が目の前にいるかのように、新しい歯を設計して完璧なハーモニーをテストできるようになったんです。もう患者さんを、何度も何度も椅子に座らせる必要がなくなったんですね。

# 5

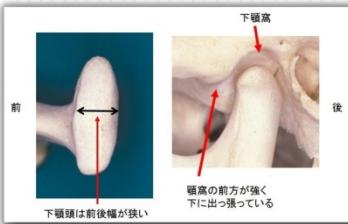
## 5. ナソロジーが遺したもの

理想と現実のギャップ

NotebookLM



咬合器のモデル：関節部には完璧な球体を使用。単純な幾何学モデルを想定。



実際の頸関節：複雑な卵形の生物学的構造。人によつて形状が異なる。

でもですね、これだけ野心的なシステムでもやっぱり完璧じゃなかった。この機械工学的な理想を追い求めた美しい理論と予測不能な生身の人間の体との間にはどうしても埋められないギャップがあったんです。最後のセクションでは、その限界について見てきましょう。

### 避けられない限界

- ・パントグラフは骨でなく皮膚上の動きを測定
- ・筋肉や組織の層が誤差を生んだ
- ・真の生物学的現実を捉えきれなかった

これが根本的な限界でした。左の歯車のアイコンが示しているように、咬合器の関節っていうのは機械で作られた、まん丸の球体なんです。でも右の骨のアイコンを見てください。実際の僕たちの頸関節って、もっとこう卵みたいな複雑で非対称な形をしてるんですよね。結局、機械のモデルは、この生物学的なユニークさを、単純な幾何学モデルとして再現するしかなかった。ここに限界があったわけです。

それに問題はそれだけじゃなかったんです。パントグラフがどれだけ精密でも、結局は骨そのものじゃなくて皮膚の上の動きを図っていた。筋肉や脂肪の層をすかしてみることはできず、そこには常にどうしても避けられない誤差が存在しました。システムは本当の意味での生物学的現実を見てはいなかったんですね。

### 「中心位」の定義の変遷



驚くことに、ナソロジーの根幹とも言えるあの中心位っていう概念でさえ、このタイムラインが示すように何十年もかけて、定義が 2 転 3 転したんです。これって、何を意味してるかって言うと、純粋な解剖学的な 1 点を追い求めるっていう理想から、もっと臨床の現場で誰でも再現できる、より機能的で実用的なポジションへと、その哲学自体が変化していったってことなんですね。

“それは「歯科医師の**脳内咬合器**」を訓練し、見えなかつたシステムの**心象イメージ**を作り出した。

© NotebookLM

まさにこの言葉が全てを語っていますよね。あの、ものすごく精巧な咬合器を、自分の手で触って調整して動かす。その経験を通じて、歯医者さんたちは、それまでブラックボックスだった、頭蓋骨の中の顎の動きを、自分の頭の中で、3次元的にシミュレーションできるようになった。つまり頭の中に、ものすごく高性能な脳内咬合器がインストールされた、みたいな感じですかね。ナソロジーは歯医者さんを育てるための、至上最高の教育ツール

だったのかもしれません。

デジタル技術は、あのアナログ時代の壮大な夢を実現できるのか？

© NotebookLM

この話、最後に僕たちに、1つの問を投げかけてると思うんです。アナログ技術を極限まで突き詰めた先人たち。彼らが、どうしても超えられなかつた生体っていう壁を、今の僕たちのデジタル技術、3DスキャンやAIは、ついに乗り越えることができるんでしょうか。あのアナログ時代の壮大な夢は、今、まさに実現されようとしているのか、どう思いますか。



[notebooklm.google.com](http://notebooklm.google.com)

## 顎の動きの真実：全運動軸の探求

NotebookLM

# 顎の動きの真実：全運動軸の探求



→



あなたの顎、本当はどう動く？

どうも、皆さん、毎日話したり食べたり当たり前に動かしてますよね、この顎。でも、その動きの科学が、実は長い間、ある1つの思い込みに支配されてたって、ご存知でしたか。今回はですね、その当たり前をひっくり返して、顎の動きの本当の中心を見つけ出した、ある日本の研究者たちの、いやー、知られざる探求の物語と一緒に見ていきたいと思います。

さて、いきなりですけど、皆さんに質問です。あなたの顎、本当はどうやって動いてると思いますか。まあ、なんとなくね、単純な動きに見えますよね。でも、もしその分野の専門家たちが何十年もの間、根本的に間違ってたら、どうでしょうか。この物語はある研究チームが、いや真実を突き止めなきやいけないと決意した、まさにその瞬間から始まるんです。

# 1

## 1. 常識への疑問

1960年代の東京の大学

物語の舞台は1960年代の東京です。当時、世界中で、これが常識だと受け入れられていた顎の動きの理論。それに数人の研究者たちが静かに、でも、ものすごく決定的な疑問を抱き始めていたんですね。



- ・ナソロジー
- ・ヒンジアキシス
- ・中心位



当時の定説は、顎の動きをドアの蝶番のような、単純な開閉運動として捉えていました。

その頃の定説っていうのは、顎の動きを、まるでドアの蝶番みたいに単純な開け閉めの運動として捉えるものでした。うん。すごく分かりやすいし、直感的ですよね。でも、このあまりにシンプルなモデルには、実はパズルのとてつもなく大きなピースが、すっぽりと抜け落ちていたんですね。

「<https://www.anatomystandard.com/biomechanics/tmj/envelope-of-motion.html>」より引用

・ナソロジー

・ヒンジアキシス

・中心位

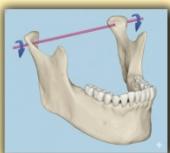


当時の定説は、顎の動きをドアの蝶番のような、単純な開閉運動として捉えていました。

「

<https://www.anatomystandard.com/biomechanics/tmj/envelope-of-motion.html>」より引用

NotebookLM



米国発の定説：理論上の蝶番軸と、人工的な開始点「中心位」。



東京発の新説：自然な開始点「顎頭安定位」と、真の中心「全運動軸」。



探求を率いた研究者たち

・石原教授 (Professor Ishihara)

・大石氏(Mr.Oishi)

・河野氏(Mr.Kono)

・(旧)東京医科歯科大学 (現：東京科学大学)



東京医科歯科大学第2補級学教室 医局旅石  
鶴川 S. 43. 11. 24. 25  
図1 石原教授の長期外国出張から帰国後 1968年の教室員  
A: 石原 B: 田島 C: 井上 D: 長谷川 E: 藤 G: 大石 H: 河野 I: 堀尾 J: 真柳  
が主に咬合研究に携わる

そして、ここからですね、科学の歴史でよくある、あの古典的な対決が始まるわけです。世界標準だったアメリカの理論と東京から生まれた、全く新しいちょっと革命的なアイデア。この2つの考え方が真っ向からぶつかり合うことになります。

片方は、アメリカ初の主流の理論。これはですね、顎をある特定の位置にグイっと誘導して決める、中心位っていう開始点と、理論上の蝶番軸っていう考えが中心でした。でも、もう一方の東京では、もっと自然なスタート地点である顎頭安定位、そしてあらゆる動きの真の中心となる全運動軸という、全く新しい概念が、まさに生まれようとしていたんです。

この探求っていうのは、ただの学術的な議論じゃなかったんですね。これは旧東京医科歯科大学の石原教授が率いる、ものすごく情熱的なチームによって進められたんです。特に中心的な役割を果たした研究者の大石さんとその後輩の河野さん、彼らはまさに科学の常識そのものに挑戦しようとしていたわけです。

3

### 3. 発見の第一歩

さて、チームが真の運動軸、つまり全運動軸を見つけ出す前に、まず解決しなきやいけない、もっと基本的な問題があったんです。それは、そもそも顎の動きって、どこから始まるのっていう、すごく根本的な問い合わせでした。

NotebookLM



ホルマリン固定標本は組織を硬化させ、不自然な状態にしてしまう。



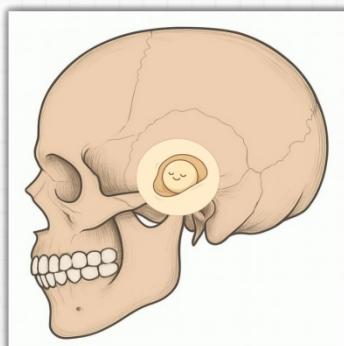
NotebookLM



顎の真の動きを解明するため、彼は生体に近い「新鮮標本」を使用した。この決断がすべてを変えた。



NotebookLM

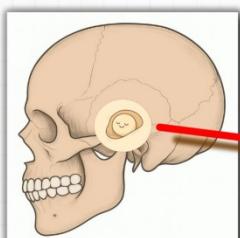


### 顆頭定位 (SCP)

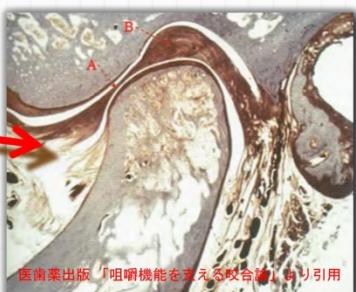
顎の骨の先端（顆頭）が、力を加えられずに自然に収まる、機能的な安静位置。

置だったんですね。

#### 顆頭定位にあると考えられる顎関節の組織構造



±0.2~0.3mm



医歯薬出版「咀嚼機能を支える咬合論」より引用

顆頭は関節円板の最薄部である前方狭窄部(A)を介して下顎窩前壁と対面し、上方は関節円板の後方肥厚部(B)によって満たされ、顆頭は関節窩内で前上方位を占めています。

ここでとんでもないブレイクスルーを起こします。それまでの研究って、ほとんどがホルマリンで固定された標本を使ってたんですね。でも問題は、ホルマリンって、組織をカッチカチに固めて、もう全然不自然な状態にしちゃうことなんですね。生きてた時の動きとは似ても似つかない。そういうことだったんです。

大石さんは、これが研究における致命的な欠陥だって気づいたんですね。顎が本当に、どう動くかを知るには、生きてた時に限りなく近い状態で研究しなきやだめだと。そこで彼は新鮮な標本を使うことにしたんです。いやあ、この決断が本当に全てを変えることになります。

この新鮮な標本を調べて見てみて大石さんは驚くべき事実を見つけます。顎の骨の先端、いわゆる顆頭っていう部分なんですけど、これがね、誰かが無理やり押し込む必要なんて、全くなくて、関節の中でごく自然に、1番安定した場所にストンと収まることを見つかったんです。彼はこれを顆頭定位、略して SCP と名付けました。古い理論の中心位っていうのが、かなり人工的な位置だったのに対して、この SCP は、自然で機能的な本来の安静な位置だったんですね。

しかもですね、この顆頭定位っていうのが、ま、驚くほど精密だったんですよ。その遊びの範囲、つまりブレ幅が、たったのプラスマイナス 0.2 から 0.3mm。いや、これはもう偶然そんな位置に収まるなんてことはありえないですよね。顎にとっての、まさに真のホームベースなんだってことを、この数字がはっきりと示していたわけです。

# 4

## 4. 真の軸を探して

© NotebookLM

“自然はもっとエレガント  
なはずだ

© NotebookLM

さあ、顎の本当のスタート地点が見つかりました。でも、これによってさらに大きな謎が浮かび上がってくるんです。じゃあ、顎ができる全ての動きの本当の回転中心は、一体どこなんだと。ここから真の軸、つまり全運動軸を探す壮大なハントが始まります。

この探求をグイグイ押し進めたのは、石原教授のある強力な信念でした。彼は、ほんのちょっと口を開けしめする動きにしか使えない既存の理論じゃ、到底満足できなかつたんですね。自然は、もっとエレガントなはずだと。大きなあびから、左右に食べ物をすり潰す動きまで、全てを支配する、たった1つの美しい軸が、必ず存在するはずだと、彼は固く信じていました。

### 独創的な実験計画

1. ストロボ撮影  
動きをコマ撮りで捉える
2. マーカー装着  
下頬の動きを外部から追跡
3. フェイスボウ  
顎頭の正確な位置をマッピング
4. 暗室での記録  
クリアな写真を撮影

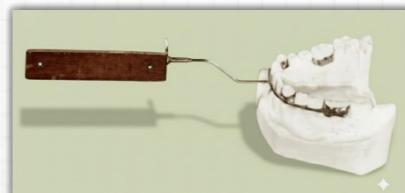


医歯薬出版・Cr-Br咬合のルーツより引用

さて、この目に見えない軸を見つけるためには、とにかく正確なデータが必要です。そこでチームは、驚くほど巧妙な装置を自分たちで開発しました。ストロボを使って顎の動きを、コマ撮りのように撮影して、

### 独創的な実験計画

1. ストロボ撮影  
動きをコマ撮りで捉える
2. マーカー装着  
下頬の動きを外部から追跡
3. フェイスボウ  
顎頭の正確な位置をマッピング
4. 暗室での記録  
クリアな写真を撮影

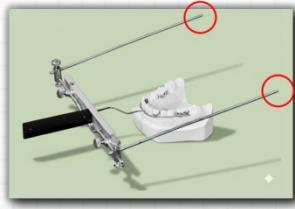


医歯薬出版・Cr-Br咬合のルーツより引用

下顎には目印になるマーカーを装着。

## 独創的な実験計画

1. ストロボ撮影  
動きをコマ撮りで捉える
2. マーカー装着  
下顎の動きを外部から追跡
3. フェイスボウ  
顎頭の正確な位置をマッピング
4. 暗室での記録  
クリアな写真を撮影



医歯薬出版・Cr-Br咬合のルーツより引用

そして顎の骨格を基準にして、顎の関節の正確な位置を記録して、

## 独創的な実験計画

1. ストロボ撮影  
動きをコマ撮りで捉える
2. マーカー装着  
下顎の動きを外部から追跡
3. フェイスボウ  
顎頭の正確な位置をマッピング
4. 暗室での記録  
クリアな写真を撮影



医歯薬出版・Cr-Br咬合のルーツより引用

真っ暗な部屋で、ブレのない鮮明なデータを集めていったんです。



ANATOMY STANDARD

目標は、顎の「車軸」を見つけること。

つまり、回転せずにスライドするだけの点を探すことだった。

「<https://www.anatomystandard.com/biomechanics/tmj/envelope-of-motion.html>」より引用

でも撮影は、まだ第1歩に過ぎません。これからが本当に大変な作業です。何千ものデータポイントを分析して、隠されたパターンを見つけ出していく、純粋に数学的な探求が始まりました。ちょっと考えてみてください。車輪が転がる時、あれは前に進む並進運動と、その場で回る回転運動を同時にやってますよね。でも中心にある車軸だけは回転せずに前にスーっと進むだけ。彼らの課題も全く同じでした。顎の関節の中で回転せずにスライド

するだけの点、つまり顎にとっての車軸を見つける必要があったんです。

# 5

## 5. 「全運動軸」の発見

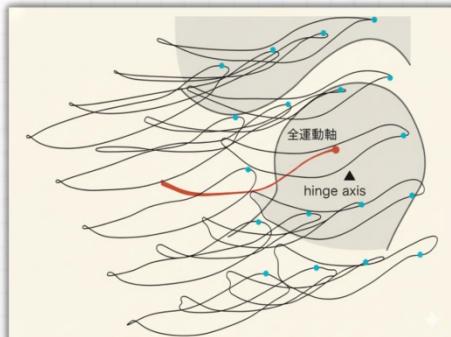
新鮮な標本、特注の撮影装置、そして膨大な計算。こういう骨の折れる作業の末に、ついに、本当にいに、真実が、その姿を表す瞬間がやってきます。



データをプロットすると、ある特定領域の軌跡が一点に収束し、美しくエレガントな単一の曲線を描いた。



NotebookLM



**平均幅約0.7mm**

そして、その膨大なデータを、グラフに落とし込んだその瞬間でした。え、ほとんどのテストポイントが描く軌跡は、もうぐちゃぐちやのカオスのループだったんです。ところが、顎頭の、あるたった 1 つの特定の領域から取ったデータだけが、まるで魔法みたいにですね、スーっと収束して、1 本の、それはもう美しくエレガントな曲線を描いたんですね。「これだ」と彼らは、ついに、ついに、それを見つけ出したんですね。

しかもその精度は、まさに驚異的でした。この軌道っていうのは、なんか曖昧なエリアとかじやなくて、平均してわずか幅 0.7mm っていう信じられないほどシャープな帯域だったんです。顎が口を開けようが、閉じようが、横に動こうが、真の回転中心は常にこの精密な軌動の上を移動していたんです。

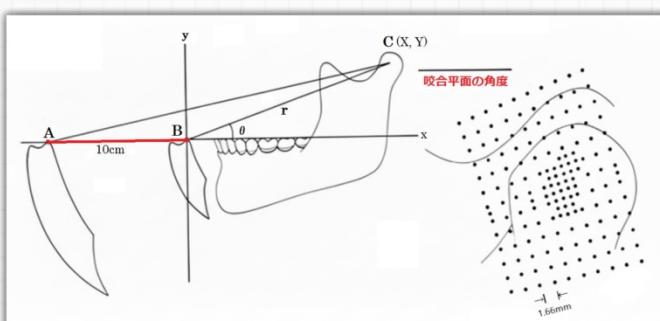
## 全運動軸

あらゆる顎運動の真の回転中心となる顎頭上の特定点。予測可能な軌道に沿って移動する。



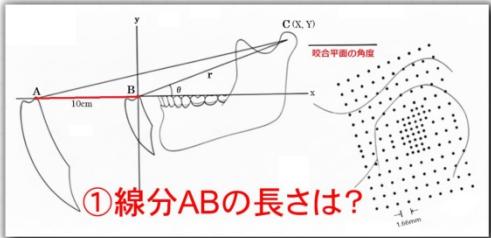
NotebookLM

彼らはこの驚くべき発見に名前をつけました。全運動軸。これは顎頭の上に存在する特定の点であり、あらゆる顎の動きの本当の回転中心です。1 点でくるくる回るだけの単純な蝶番とは違って、この全運動軸は予測可能な 0.7mm 幅の軌動に沿ってスライドしながら移動し、顎のあらゆる複雑な動きを支配していました。そういうことだったんです。



**計算：点Cを見つける。数学で回転中心を特定。**

点 C の計算。ここからは、僕たちが手に入れた点 A と B のデータだけを使って、まだ見ぬ未知の回転中心、点 C を、数式で探し出す旅に出ます。一緒に 1 歩ずつ見ていきましょう。



1  
2  
3  
4

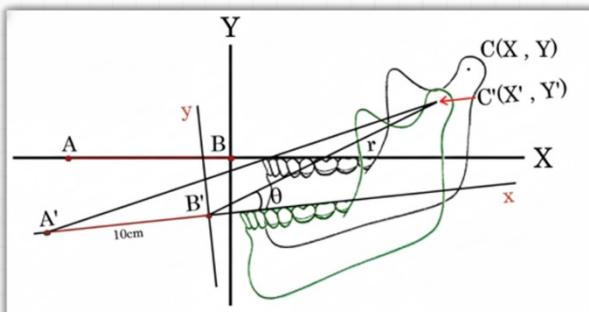
①線分ABの長さは?

$$d = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}.$$

この例では、距離  $d$  は 10cm と与えられています。

NotebookLM

まずは長さ、これを  $d$  とします。これはもうおなじみの三平方の定理を使った、距離の公式で求められますよね。で、今回の例では、この長さは 10cm で固定、ということにしておきましょう。



## 計算の目標

線分BCの長さ =  $r$ , 角度  $\angle CBX = \theta$  とする。

既知の A, B 点の座標を使い、顎頭上の任意の点 C の座標を、点 B からの距離  $r$  と角度  $\theta$  で求める。

計算のゴールはすごく明確です。分かっているのは点 A と点 B の座標だけ。これをヒントに顎の関節の上にあるだろう、任意の点 C の座標を求ること。この点 C は、点 B からどれくらいの距離  $r$  にあって、どのくらいの角度  $\theta$  を向いているかで表されます。

②線分ABの傾きを求めます。初期段階では X 軸と平行ですが、下顎を運動させると X 軸との間に傾きが生じます。



$u = (x_B - x_A) / d$  と  $v = (y_B - y_A) / d$  を計算。これは「横に  $u$  動くと、縦に  $v$  動く」という傾きを表す。 $d=10cm$ 。



NotebookLM

まず最初のステップ、線分 AB の傾きを計算します。これは点 A と点 B の、X 座標と Y 座標の差を 2 点間の固定距離、つまり 10cm で割るだけです。これで出てきた U と V っていうのはマーカープレートが、今どっちに向いているか、その方向を示すベクトルになるんですね。横に U 進むと、縦に V 進む、みたいな感じです。

③ある座標点を中心として「角  $\theta$ 」だけ反時計回りに回転させたとき、新しい座標値を求める公式があります。

$$(u, v) \rightarrow (u', v')$$

角度  $\theta$  だけ回転した新しい向き  $(u', v')$  を回転の公式で求める。



$$u' = u \cdot \cos \theta - v \cdot \sin \theta, \\ v' = u \cdot \sin \theta + v \cdot \cos \theta$$

さっき求めた「傾き」、U と V を、今度は角度  $\theta$  だけ回転させます。なんでかって言うと、僕らが知りたい点 C の方向は、元のプレートの向きから、ちょっとだけずれた方向にあるはずだからです。このおなじみの回転の公式を使えば、新しい方向を示す  $U'$  と  $V'$  、つまり回転後の傾きが、パッと計算できるわけですね。

NotebookLM

④新しい点Cの座標(XC, YC)は、以下のようになります。  
新しい点B(xB, yB)から方向はθで、長さrだけ伸ばした点になります。

点Cの座標は、点Bの座標に回転した方向(u', v')と距離rによる変化分を加える。

$$XC = xB + r \cdot u', YC = yB + r \cdot v'$$



NotebookLM

点Cの座標の決定。点Cの場所っていうのは、すごくシンプルで基準になる点Bの座標に、さっき計算した回転後の方向U'、V' と距離rを掛け合わせたものを、足してあげればいいんです。これで、ついに点Cの座標が求められます。

XC = xB + r · u', YC = yB + r · v'  
まず、u' と v' を置き換えます。

$$u' = u \cdot \cos\theta - v \cdot \sin\theta, \\ v' = u \cdot \sin\theta + v \cdot \cos\theta$$



$$XC = xB + r \cdot (u \cdot \cos\theta - v \cdot \sin\theta), \\ YC = yB + r \cdot (v \cdot \cos\theta + u \cdot \sin\theta)$$



NotebookLM

じゃあ、この式を完成させていきましょう。U ダッシュと V ダッシュ。あの回転の公式をこの式の中にスッปと代入します。これでだんだん式の全体像が見えてきましたね。

$u = (xB - xA) / d, v = (yB - yA) / d$   
u と v の元の式を代入します

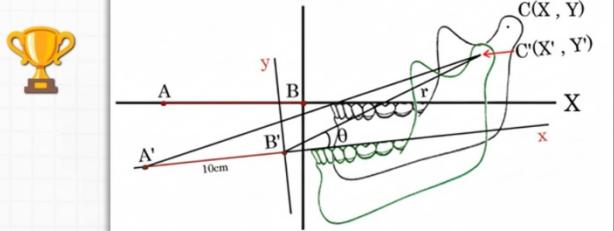
$$XC = xB + r \cdot (u \cdot \cos\theta - v \cdot \sin\theta)$$

$$XC = xB + r \cdot ((xB - xA)/d) \cdot \cos\theta - ((yB - yA)/d) \cdot \sin\theta$$

X座標の式のみ、標示しました。

NotebookLM

さらに、まだ式の中に残っている U と V、これを定義した元の式に置き換えてあげます。はい。これでついに、点CのX座標を僕たちが最初に知っていた情報だけで計算するための、完全な公式が完成したわけです。



$$XC = (r/10) * \{(xB - xA) \cdot \cos\theta - (yB - yA) \cdot \sin\theta\} + xB; \\ YC = (r/10) * \{(yB - yA) \cdot \cos\theta + (xB - xA) \cdot \sin\theta\} + yB$$

NotebookLM

そして、これが最終的に整理された美しくもパワフルな結果です。見てください。謎だった点Cの座標が、僕たちが最初に持っていた情報、つまり点AとBの座標、そして距離rと角度θ。これだけを使って完全に表現されているのが分かりますよね。

“これらの式は、専門書『臨床家のためのオクルージョン』に記載されていた式と一致します。

$$X = \frac{r}{10} \{ (X_b - X_a) \cos \theta - (Y_b - Y_a) \sin \theta \} + X_b$$

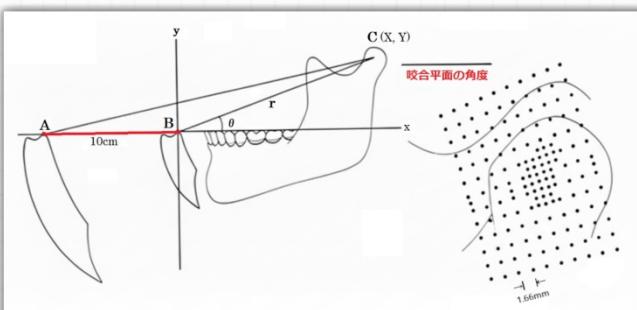
$$Y = \frac{r}{10} \{ (Y_b - Y_a) \cos \theta + (X_b - X_a) \sin \theta \} + Y_b$$

© NotebookLM

で、何がすごいって、僕たちがこうやって 1つ 1つ導き出してきた、この公式が単なる机上の空論じゃないってことなんです。これ実際に医療の現場で使われている、専門書（医歯薬出版）に載っている式と完全に一致するんですよ。

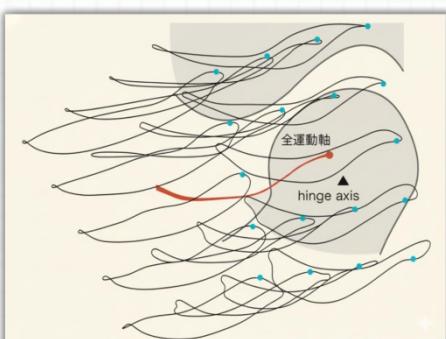
これ、何がすごいって言うと、この式さえあれば、写真から読み取った A と B の座標をポンと代入するだけで、理論上考えられる頸の関節の上のあらゆる点 C が、どう動くかを、

全部計算できちゃうってことなんですよ。すごいことですよね。



頸頭上の120以上の点を計算し、ただ一つ、単純な線上を動く点を探し出しました。

データから頸関節にある 120 以上の点の動きを計算。真っすぐな線を描く点を、探したんです。



そして見つかったんです。どんな動きをしても、常に 1 本の線の上を動く、たった 1 つの点が。



そして、ついに発見。あらゆる動きにおいて、驚くほど一貫した軌道を描く特定の点を見つけたのです。 © NotebookLM

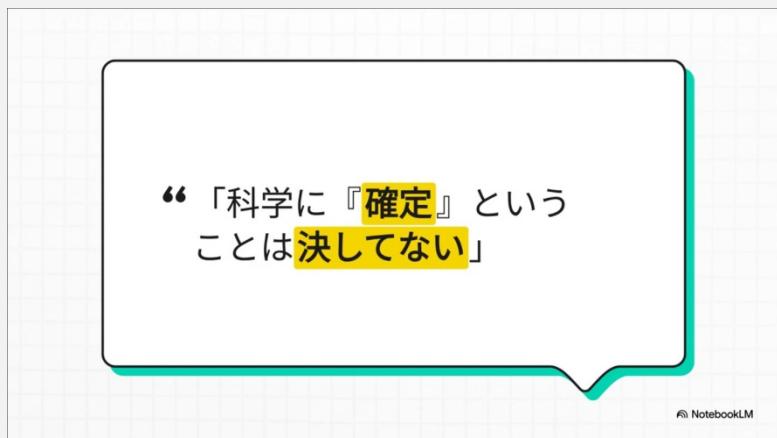
“全運動軸は、hinge axis の機能を完全に否定します。

この発見は、古い理論のなるアップデートじゃないんです。ヒンジアキシスを真っ向から否定するものでした。

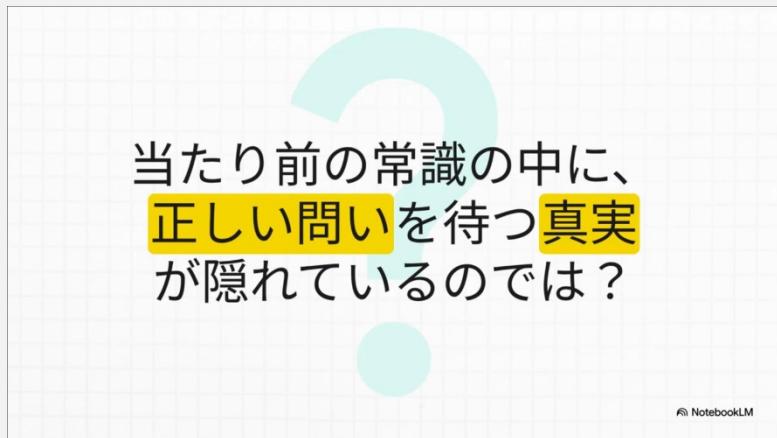
特徴 (Feature)	旧・蝶番軸 (Old Hinge Axis)	新・全運動軸 (New Kinematic Axis)
適用範囲 (Scope)	小さな開口運動のみ	全ての額運動
軌道の幅 (Path Width)	広く不正確	精密な0.7mm幅
本質 (Nature)	一時的な推測	真の回転中心

© NotebookLM

こうして並べてみると、もう違いは一目瞭然ですよね。古い蝶番軸はごく小さな開け閉めにしか適用できなかった。でも全運動軸は、全ての動きに適用できる。古い軸の軌道は、なんと 3 倍以上も幅広くて、不正確だったのに対して、全運動軸は0.7mm の軌道をたどる。片方は言ってしまえば一時的な推測。そしてもう片方は真の回転中心だったわけです。



この話、もう 50 年以上も前のことなんんですけど、すごく大事なことを教えてくれますよね。それは、科学にこれで終わりなんてことは、絶対にないっていうことです。常に進化し続けるものなんですね。



そう考えると、ちょっとワクワクしませんか。今、僕らが当たり前だと思ってる常識の中にも、実はまだ誰も気づいてない、もっと深くて、もっとエレガントな真実が隠れてるかもしね。あとは、誰かがそれって本当？って、正しい問い合わせを投げかけるのを、ただ待っているだけなのかもしれないですね。



[notebooklm.google.com](http://notebooklm.google.com)

## 歯科治療のパラダイムシフト：仮想運動軸法

NotebookLM

### 歯科治療のパラダイムシフト：仮想運動軸法



今日はですね、あなたの歯の治療、ま、例えば詰め物とか被せ物とかが、まるでね、自分の体の一部みたいに、もう完璧にフィットする未来。そんな精密な治療を可能にする歯科の世界の、ある大きなパラダイムシフトについてお話しします。その名前は仮想運動軸法。うん。これまでの常識をガラっと変えちゃう。全く新しいアプローチの秘密と一緒に迫っていきましょう。

### もし、あなたの顎の動きをコンピューター上で完全に再現できる？

NotebookLM

ちょっと想像してみて欲しいんですけど、もしあなたの顎の動き、あの複雑な軌道をですね、コンピューターの中で本当ミクロン単位で再現できたら歯科治療って、どれだけ精密になると思いますか。詰め物とか被せ物が、もうまるであなた自身の体の一部みたいにずっと馴染んで完璧にフィットする。そんな未来を実現する鍵こそが、まさに今回のテーマ「バーチャル・キネマティック・アキシス・メソッド」なんですよ。

その鍵は、単なる技術進化ではなく、ある深遠な「哲学的な転換」がありました。



NotebookLM

でもね、この技術革新っていうのは、ただのテクノロジーの進化って話じゃないんです。その根っこには、そもそも顎の動きの真実って何なのとか、じやあ僕たちはその真実をどうやって知ればいいのっていう、すごく深い哲学的な考え方の転換が隠されてるんですね。歯科治療と哲学って、えって、思うかもしれないんですけど、ここが今回の話の1番面白いところなんです。

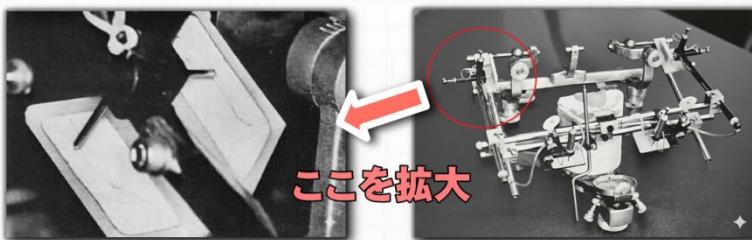
# 1

## かつての挑戦

「真の軸」を探す旅

© NotebookLM

この新しい方法を理解するためには、まずこれまでの歯医者さんたちが挑んできた、ま、壮大な探求の歴史から見ていくのが 1 番分かりやすいと思います。それは顎の動きを支配しているはずの、真の回転軸をなんとか見つけ出そうっていう、長くてそして、かなり困難な旅でした。



### 従来のアプローチ：ナソロジー

- 目的：顎の「真の」解剖学的な軸を見つけること。
- 方法：左右の顎関節を、一本の統一された軸として扱う。
- 分析：3次元の動きを、2次元の平面に「投影」して分析する。
- 例：3Dの物体を、その2Dの「影」から再構築する試み。

© NotebookLM

昔からナソロジーっていう学問分野では、左右の顎の関節、つまり顎頭っていう部分を結んだ 1 本の線を顎頭間軸って呼んでました。で、これを顎の運動の絶対的な基準だって考えてきたんですね。これって顎の複雑な 3 次元の動きを、例えば真横から見た 2 次元の平面に、いわば投影して分析するようなものなんです。うん。例えるなら、ある物体の本当の形をその壁に移った影を頼りに、なんとか推測しようとする。そういう解剖学的な真実

を探し求めるアプローチだったわけです。

課題	結果
2Dへの投影	3次元的な「ねじれ」や「傾き」を直接捉えにくい。
統一された軸	「ベネット運動」のような繊細な動きが埋もれてしまう。
高度な複雑性	高価で専門的な装置（バントグラフ等）が必須。

© NotebookLM

でもこのやり方には当然限界がありました。影から本体を完璧に復現するのって難しいですよね。それと同じで 2D に投映した時点で 3 次元の複雑な情報ってどうしても失われちゃうんです。特に左右の顎関節を 1 本の硬い棒みたいに扱っちゃうんで、例えば片方の関節だけが微妙に、こう横にスライドする、ベネット運動みたいな繊細な動きは、その棒全体のねじれとしてしか表現できない。つまり独立した動きとして正確に捉えるのが、ものす

ごく難しかったんです。

# 2

## 新しい発想

動きを「3つの点」で捉える

そこで登場したのが問題を全く違う角度から考え直した「バーチャル・キネマティック・アキシス・メソッド」。日本語だと仮想運動軸法ですね。この方法は、そもそも真の軸はどこにあるんだっていう問い合わせから1回離れるんです。そして、あるシンプルな物理の法則に注目しました。

© NotebookLM

3D空間における剛体の位置と向きは、たった3つの点で定義できる。



この方法の土台にあるのは、実はすごくシンプルな幾何学の原理なんです。それは3D空間にある物体の位置や向きっていうのは、たった3つの点で完全に決まるっていうこと。どんなに複雑に見える動きも、突き詰めるとこの3つの点の関係性で全部説明できちゃうんですね。

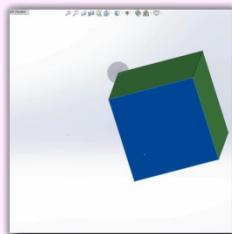
© NotebookLM

### 3点による固定

**ステップ1**  
点を1つ固定する。物体はその点を中心自由に回転できる。

**ステップ2**  
2つ目の点を固定する。物体は2点を結ぶ軸上でのみ回転可能になる。

**ステップ3**  
3つ目の点を固定する。物体は空間に完全に固定される。



これ、すごく直感的で分かりやすいですよ。まず点を1つ固定する。そうすると物体はその点を中心にグリグリ自由に動きますよね。

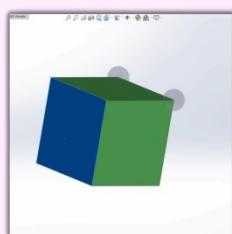
© NotebookLM

### 3点による固定

**ステップ1**  
点を1つ固定する。物体はその点を中心自由に回転できる。

**ステップ2**  
2つ目の点を固定する。物体は2点を結ぶ軸上でのみ回転可能になる。

**ステップ3**  
3つ目の点を固定する。物体は空間に完全に固定される。



で、次に2つ目の点を固定する。すると今度は、その2点を結んだ線を軸にして、くるくる回ることしかできなくなる。

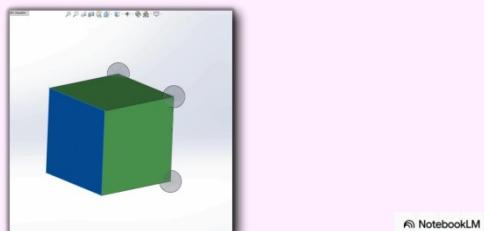
© NotebookLM

### 3点による固定

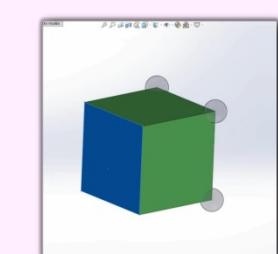
ステップ1  
点を1つ固定する。物体はその点を中心に自由に回転できる。

ステップ2  
2つ目の点を固定する。物体は2点を軸上でのみ回転可能になる。

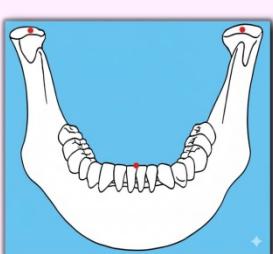
ステップ3  
3つ目の点を固定する。物体は空間に完全に固定される。



そして最後に、3つ目の点をカチッと固定した瞬間、物体はもうピタッと完全に空間に固定されるんです。この原理を使えばどんな複雑な動きも定義できるってわけです。



ボックスを固定する3つの点：  
第一の角、第二の角、第三の角



顎の動きを捉える3つの基準点：  
右顎関節、左顎関節、切歯点

この原理をそっくりそのまま下顎に応用したのが、仮想運動軸法なんです。つまり左右の顎関節、そして下の前歯の先端、この3つの点の動きをデータとして記録することで、下顎全体の複雑な動きをコンピューター上で完全に再現しちゃうわけです。もうね、さっきの影を追いかける必要なんてない。動きそのものをダイレクトに捉えるんです。

## これだけ正確なのに、なぜ「仮想（Virtual）」なのでしょうか？

でもここで、ちょっと疑問が浮かびますよね。こんなに正確に動きを捉えるのに、なんで仮想、つまり「バーチャル」なんて言葉がついてるんだろうって。実はね、ここに、この方法の本当の賢さが隠されてるんですよ。



解剖学的に正確な関節位置を見つけるという、困難で高コストな問題を、見事に回避しているからです。



NotebookLM

なぜかと言うと、この方法は解剖学的に正確な関節の位置っていう、見つけるのがものすごく大変で、お金もかかる問題を見事にスルーしてるからなんです。患者さん1人1人の正確な関節の位置を知ろうと思ったら、CTとか撮らないといけないですよね。でも仮想運動軸法はこう考えます。「いやいや、私たちの目的は骨の診断じゃない。歯の動きを再現して、完璧な被せ物を作ることだと。その目的にとっては、本当の関節の位置がどこにあるかなんて実はどうでもいい。だからコンピューター上で扱いやすい仮の軸を設定する。」これが、仮想って呼ばれてる理由なんです。すごく合理的ですよね。

# 3

## 対立する概念

存在論 vs. 認識論

NotebookLM

### 存在論 (Ontology)

存在そのものを問う学問。「何が本当に存在するのか？」を問う。この場合：『『真の』解剖学的な軸は、どこに存在するのか？』



NotebookLM

### 認識論 (Epistemology)

知識のあり方を問う学問。「私たちは、どうすればそれを知ることができるのか？」を問う。この場合：『歯の動きを『知る』ために、最も効率的な方法は何か？』



NotebookLM

工学的なアプローチですよね。

さて、ここからが今回の話の1番深いところに入っていきます。さっきの真の軸を探すのか、それとも歯の動きを再現するのかっていう違い。これって単なる技術的な差じやなくて、存在論と認識論っていう物事の捉え方にに関する根本的な哲学の違いとして説明できるんです。

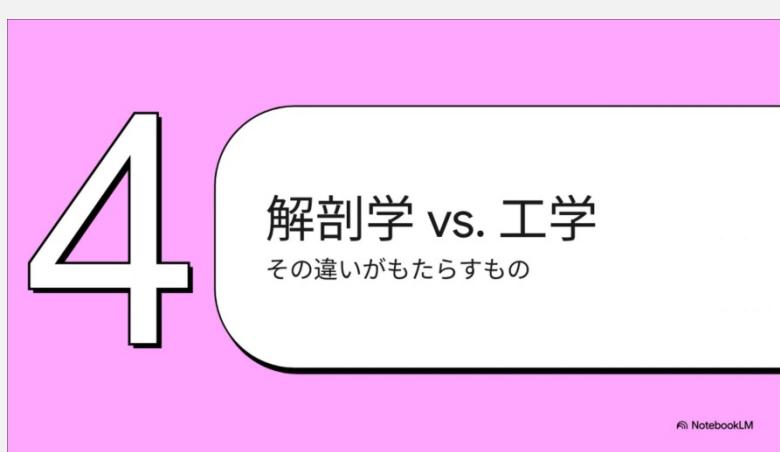
まず存在論。これはまあ簡単に言うと本当に存在するものは何なのか。つまり物事の真実の姿を追い求める考え方です。従来のナゾロジーは、まさにこの立場でした。歯の動きを支配する真の軸っていうのは解剖学的に絶対どこかにあるはずだ。我々の使命は、それを見つけ出すことなんだと。これは病の本当の原因を探るような診断を目的としたアプローチと言えるかもしれません。

一方で認識論っていうのは、私たちが物事をどうやって知ることができるのか、つまり知るための最適な方法を追求します。仮想運動軸法はこっちの立場なんですね。真の軸がどこにあるのかっていう問いは、一旦横に置いとこうよと。私たちのゴールは、あくまで歯の動きを正確に再現することだ。その目的を達成するために1番合理的で効率的な方法って何だろうって考える。これって、まさにある機能を実現するための設計図を描くような、

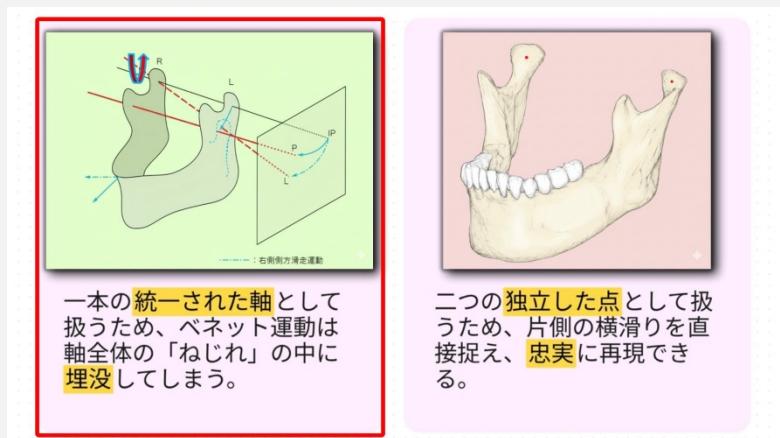
	従来法(ナソロジー)	仮想運動軸法
哲学	存在論と認識論が混在	意図的に両者を分離
主たる問い	「真的軸は存在する。どう見つけるか?」	「歯の動きをどう再現するか?」
フレームワーク	解剖学的・診断的	工学的・機能的

NotebookLM

この 2 つの違いを、ちょっと整理してみましょうか。従来法っていうのは、真的軸は存在するっていう、存在論的な信念と、じゃあ、それをどうやって測るかっていう認識論が、もう、ごちゃ混ぜになってたんですね。それに対して、仮想運動軸法は、この 2 つを意図的にスパッと切り離します。存在する真実の探求じゃなくて、ゴールを被せ物を作るっていう工学的な目的に絞って、そのための最適な認識の方法、つまりデータを取り出す方法を選んだということなんですね。



じゃあ、この哲学的な違いが実際の治療でどんな差を生むのか、これがすごく分かりやすい例が、さつき、ちょっとだけお話しした、ベネット運動の再現なんですね。



1 本の真的軸が存在するっていう、存在論的な立場に立つ従来法だと、左右の頬頭はあくまで軸の両端に固定された点なんですね。だから片方の頬頭が横にスライドするベネット運動は、軸全体のねじれっていう動きの中に、埋もれちゃって独立した動きとして捉えるのが難しかった。でも、どうすれば動きを知れるかっていう、認識論の立場に立つ仮想運動軸だと、左右の頬頭を独立した 2 つの点として扱います。だから片方の点が横にスライド

する動きをそのままデータとして記録できる。結果としてベネット運動を、ものすごく忠実に再現できるんです。

# 5

## 患者をデータ化する手順

現実世界から精密な3Dデータを集める

© NotebookLM

### 完全デジタルの手順

#### ステップ1: 3Dスキャン

口腔内スキャナーで上下の歯並びを3Dデータ化する。

#### ステップ2: シーン設計

目印付きの特殊なシーネ（マウスピース）を設計し3Dプリントする。

#### ステップ3: 位置記録

デジタルフェイスボウで頭に対する頸の相対的な位置を記録する。

#### ステップ4: 動きのキャプチャ

モーションキャプチャー技術で頸のあらゆる動きを記録する。

#### ステップ5: データ統合

ソフトウェア上で全てのデータを統合し、動くデジタルモデルを完成させる。



### 完全デジタルの手順

#### ステップ1: 3Dスキャン

口腔内スキャナーで上下の歯並びを3Dデータ化する。

#### ステップ2: シーン設計

目印付きの特殊なシーネ（マウスピース）を設計し3Dプリントする。

#### ステップ3: 位置記録

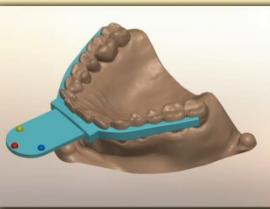
デジタルフェイスボウで頭に対する頸の相対的な位置を記録する。

#### ステップ4: 動きのキャプチャ

モーションキャプチャー技術で頸のあらゆる動きを記録する。

#### ステップ5: データ統合

ソフトウェア上で全てのデータを統合し、動くデジタルモデルを完成させる。



### 完全デジタルの手順

#### ステップ1: 3Dスキャン

口腔内スキャナーで上下の歯並びを3Dデータ化する。

#### ステップ2: シーン設計

目印付きの特殊なシーネ（マウスピース）を設計し3Dプリントする。

#### ステップ3: 位置記録

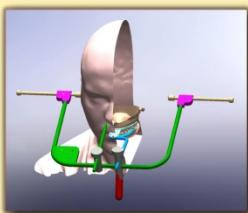
デジタルフェイスボウで頭に対する頸の相対的な位置を記録する。

#### ステップ4: 動きのキャプチャ

モーションキャプチャー技術で頸のあらゆる動きを記録する。

#### ステップ5: データ統合

ソフトウェア上で全てのデータを統合し、動くデジタルモデルを完成させる。



じゃあ、具体的にどうやって1人の人間を丸ごとデータ化するのか。その最初のプロセスを見ていきましょう。いってみれば、デジタルの世界の設計図を作るためのデータ収集の現場ですね。

まず、お口の中を小さなカメラ、口腔内スキャナーでスキャントして、歯並びを3Dデータにしちゃいます。

次に、目印になる特殊なマウスピースを設計して3Dプリンターで作ります。

で、ここからが面白いんですけど、デジタルフェイスボウという装置を使って、頭全体の中で頸がどの位置にあるのかを記録するんですね。これ言うならば、頸のGPSみたいなものです。

## 完全デジタルの手順

### ステップ1: 3Dスキャン

口腔内スキャナーで上下の歯並びを3Dデータ化する。

### ステップ2: シーン設計

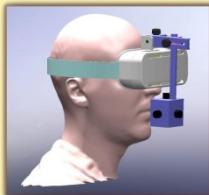
目印付きの特殊なシーネ（マウスピース）を設計し3Dプリントする。

### ステップ3: 位置記録

デジタルフェイスボウで頭に対する顎の相対的位置を記録する。

### ステップ4: 動きのキャプチャ

モーションキャプチャ技術で顎のあらゆる動きを記録する。



### ステップ5: データ統合

ソフトウェア上で全てのデータを統合し、動くデジタルモデルを完成させる。

そして最後は、映画の撮影でも使われるモーションキャプチャ技術で、顎のあらゆる動きを記録して、

## 完全デジタルの手順

### ステップ1: 3Dスキャン

口腔内スキャナーで上下の歯並びを3Dデータ化する。

### ステップ2: シーン設計

目印付きの特殊なシーネ（マウスピース）を設計し3Dプリントする。

### ステップ3: 位置記録

デジタルフェイスボウで頭に対する顎の相対的位置を記録する。

### ステップ4: 動きのキャプチャ

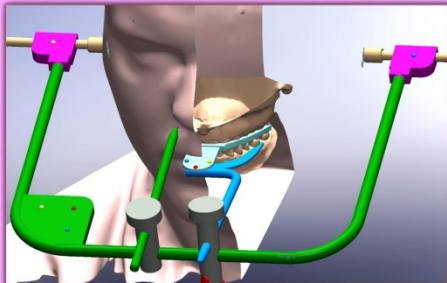
モーションキャプチャ技術で顎のあらゆる動きを記録する。

### ステップ5: データ統合

ソフトウェア上で全てのデータを統合し、動くデジタルモデルを完成させる。



これら全てのデータをソフトウェア上で1つに統合するというわけです。



デジタル・アナログ・変換フェイスボウ

患者の頭部に対する上顎の3D空間的な関係、つまり正確な位置と角度を記録する装置。

フェイスボウの基準点と特性のマウスピースの基準点を3Dカメラで記録する。

© NotebookLM

さて、出ました。デジタル・アナログ変換・フェイスボウ。なんかすごい名前ですよね。でも、やってることは、実はすごくシンプルで、そしてめちゃくちゃ重要なんです。要は現実世界、つまりアナログな患者さんの顔の位置情報を、コンピューター上の仮想モデル、つまり、デジタルな世界に正確に伝えるための、まさに変換器なんですよ。もっと簡単に言うと、患者さんの頭に対して、上顎がどの

位置に、そして、どの角度でくっついているのか、その3次元空間での関係性を、寸分の狂いもなく記録するための装置、それがフェイスボウなんです。



測定装置の透過画像

© NotebookLM

**6**

## 仮想空間での組み立て

データから患者のデジタルツインを創る

© NotebookLM

測定装置の透過画像です。下顎運動を測定します。上顎の基準点と下顎の基準点を同時に記録します。この映像は側方運動を測定します。カメラは 3D カメラです。こんなにたくさん必要ではないかも知れません。

さあデータが全部揃いました。いよいよここからが本番です。集めた色々なデータをフル活用して、CAD ソフトウェアの中にある咬合器っていう装置の上で、患者さんのデジタルツイン、つまりデジタルの分身を組み立てていきます。

### 組み立ての4ステップ

**Step 1**  
「デジタル・アナログ・変換フェイスボウ」で測定したデータで、CADのフェイスボウを正しく設定する。

**Step 2**  
正しく設定したフェイスボウのデータで、上顎模型の位置を設定

**Step 3**  
上顎の模型を配置

**Step 4**  
測定した「中心咬合位」のデータで、下顎の模型を配置

© NotebookLM

この仮想空間での組み立て作業も、基本的にこの 4 つのステップです。まず、あの超重要だったフェイスボウのデータを使って、上顎の正しいポジションをバシッと決めます。

### 組み立ての4ステップ

**Step 1**  
「デジタル・アナログ・変換フェイスボウ」で測定したデータで、CADのフェイスボウを正しく設定する。

**Step 2**  
正しく設定したフェイスボウのデータで、上顎模型の位置を設定

**Step 3**  
上顎の模型を配置

**Step 4**  
測定した「中心咬合位」のデータで、下顎の模型を配置

© NotebookLM

で、それを基準に咬合器に取り付けて、最後に上下の歯のモデルをはめ込む。

## 組み立ての4ステップ



まるで、めちゃくちゃ精密なプラモデルを組み立てるみたいですが、その精度はミクロン単位、物理的な作業をデジタル上で完璧に再現していくイメージですね。



“これら全ての操作をAIが自動で一括して行えるかも知れない。

© NotebookLM

いやあ、これ話を聞いてるだけでも、ものすごく複雑なプロセスだって感じますよね。でもですね、資料にはこんなちょっとワクワクする一文があるんです。「将来的にはこのめんどくさい作業も、AIがボタン1つで全部自動でやってくれるようになるかもしれない」って。すごい時代が、すぐそこまで来てるのかかもしれないんですね。

## 実践における主な利点

- 「ワイドセントリック」などの難症例にも対応可能
- パントグラフのような高価で複雑な機材が不要
- 生体の正確な関節中心を探す必要がない
- 補綴物で重要な歯列の動きに集中できる

© NotebookLM

この方法が本当にすごいのは、難しいケースでこそ、その真価が分かるってことです。例えば、咬み合わせの位置が、カチっと一点に決まらないワイドセントリックとか、ロングセントリックこれ従来の方法だと捉えるのがすごく難しかったんですけど、この方法なら、その幅のある動き全体を、ありのまま記録できるんです。高価なパントグラフっていう器械もいらないし、どこにあるか探すのがすごく大変な、関節の中心点を探す必要もない。

ただ、被せ物を作る上で1番大事な、歯が実際にどう動くかっていう事実、そこに集中できるんです。

# 7

## 動きを「翻訳」する 技術

このシステムの数学的な心臓部

さて、ここからがこの技術の行ってみれば肝中の肝。1番面白くて、1番すごい部分に入っています。このシステム全体を裏で支えている数学的な心臓部。それが座標変換という技術です。



### 座標変換

ある場所で計測した動きの軌跡を用いて、数学的にもう一つの、目に見えない場所での動きの軌跡を生成すること。

NotebookLM

座標変換。うーん。言葉だけ聞くと、なんだか難しそうって思いますよね。スライドには、「ある場所で計測した動きの軌跡を用いて数学的にもう1つの目に見えない場所での動きの軌跡を生成すること」って書いてあります。ちょっと専門的ですけど、この技術のすごさを理解する上で、めちゃくちゃ重要なので、もっと分かりやすく噛み砕いて説明しますね。

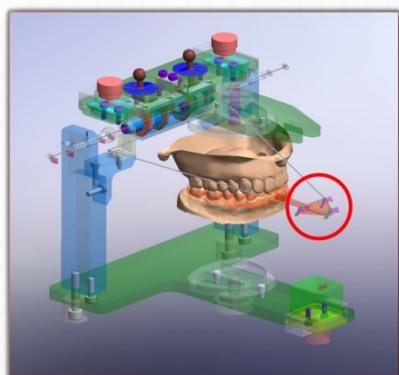


もっと分かりやすく言うと、  
こういうことです。



要するにこういうことなんです。

NotebookLM

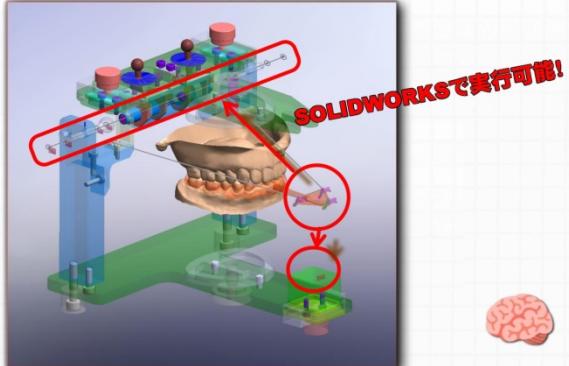


歯のデータを使って、直接は見えない顎関節が「どう動くべきか」を計算する技術。

NotebookLM

このスライドにある翻訳っていう言葉。これが本当に面白いんです。つまり口の前方、歯の辺りでセンサーを使って実際に測った動きのデータを元にして、





歯のデータを使って、直接は見えない顎関節が「どう動くべきか」を計算する技術。



© NotebookLM

直接には見ることができない奥の方、つまり顎の関節がこう動いている違いないっていう動きに、翻訳してあげるわけです。まさに、ある場所の情報を、別の場所で使える情報へと数学的に変換する。それが座標変換の正体なんです。

## 顎頭間距離問題の解決

- ・顎関節の間の距離は人それぞれ異なる
- ・仮想モデルは標準サイズ(110mm)に固定
- ・各患者の固有の動きを標準モデル用に「翻訳」
- ・個人差が排除され、標準化された分析が可能に

© NotebookLM

じゃあ、この翻訳が、何でそんなに画期的なのか。それはですね、長年、歯医者さんたちを悩ませてきた顎頭間距離問題っていうのを、一発で解決しちゃうからなんです。人の顎の関節の左右の距離って、当たり前ですけど、人それぞれ違いますよね。この技術は、発想が真逆なんです。仮想モデルの関節の距離は、もう全員一律 110mm っていう標準サイズに固定しちゃう。そして患者さん 1 人 1 人のユニークな動きの方を、この標準モデルの上で動くように翻訳して合わせちゃうんです。これによって誰のデータでも全く同じ土俵で分析できるようになつた。これものすごいブレークスルーなんですよ。

“この方法は…我々が歯列の運動のみに注目することを可能にする。

© NotebookLM

まさにこの引用文が、この技術の本質を完璧に言い当てていますよね。歯列の運動のみに注目することを可能にする。つまり個人の骨格の違ひっていう、ある種の縛りから分析を解放したっていうことなんです。

「**関節が動く→歯が動く**」ではなく、「**歯の動きを計測→関節の動きを計算**」という逆算の発想。



術が起こした革命であり、真のパラダイムシフトなんですね。

そして、これこそが、この技術が起こした本当の革命の正体です。ロジックが完全に  $180^\circ$  ひっくり替わったんです。これまでには、顎の関節がこう動くから、その結果として、歯がこう動くっていう、まっ、当たり前の因果関係で考えてました。でも、今は違うんです。まず観測できる歯の動きを精密に計測する。そしてそのデータから逆算して目に見えない顎の関節はこう動いているはずだと導き出す。この発想の大転換。これこそがこの技

# 8

## セクション8: 未来 AIがデザインする歯

© NotebookLM

そして、ここまで話でも、十分すごいんですけど、本当にワクワクする未来の話はここからです。AIが歯をデザインする時代。この技術っていうのは、単に今の状態をコピーするためだけじゃない。機能的に本来あるべき姿をAIと一緒に作り出すための土台になるんです。

この**正確な運動データ**は、人工知能にとって**完璧な燃料**となります。



© NotebookLM

ちょっと考えてみてください。この仮想運動軸法で手に入る、ものすごく精密でダイナミックな顎の運動データ。これってAIにとっての最高の燃料、つまり学習データになるわけです。質の高いデータがなければ、賢いAIなんて生まれるわけがないですからね。この言葉が、そのビジョンを全て物語っています。ナソロジー2.0とは、新しい技術で過去を再現することではない、AIが未来を創造することだ。これは単なる技術のバージョンアップじゃない。歯科医療の全く新しいショーや始まりを意味してるんです。

“ナソロジー2.0とは、新技術で過去を再現するのではなく、AIが未来を創造できるようにすることだ。

ナソロジー2.0。それは患者さん1人1人の顎の動き、つまり機能を完璧に理解したAIが、この人に1番あった理想的な歯の形を賢く、そして自動で設計してくれる、そんな未来のコンセプトです。AIが歯医者さんや技工士さんの共同設計者、パートナーになる世界が、もうすぐそこまで来ているんですね。

体の設計図：顎が選ぶ「最適化」

## 体の設計図：顎が選ぶ「最適化」



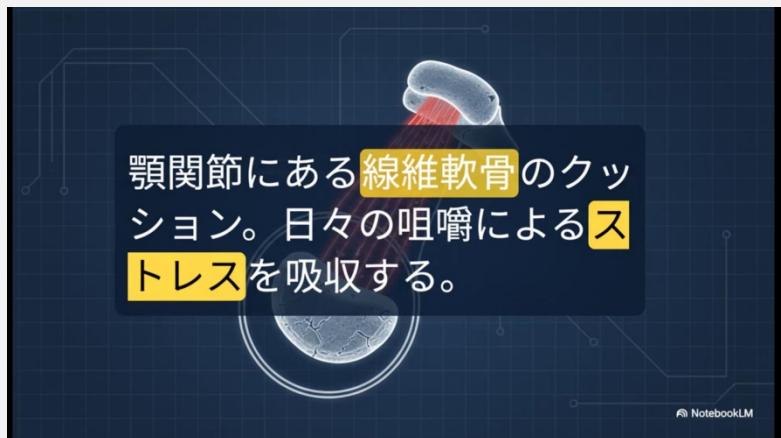
私たちの体って、毎日毎日少しずつ、すり減って、いきますよね。じゃあ、その絶え間ない消耗に、どうやって立ち向かっているのでしょうか。

なぜ体はダメージを完璧に修復しないのか？

さて、まず最初に、このすごく根本的な問いかから始めたいんです。なぜ私たちの体は、受けたダメージを、完璧に修復しないんだろうって。

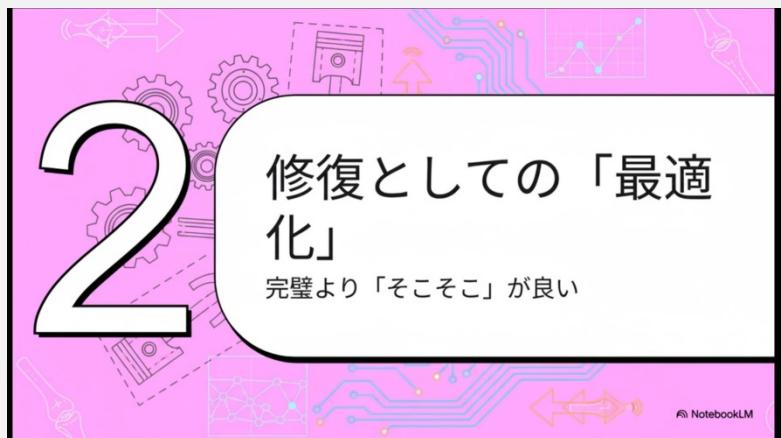
## 1 顎の日々のストレス 絶え間ない圧力下のシステム

はい、じゃあ早速本題に入りましょうか。まず注目するのは私たちの体の中でも、もうトップクラスの働き物、そう、顎の関節です。



顎関節にある**線維軟骨**のクッション。日々の咀嚼による**ストレス**を吸収する。

顎の関節の中にはですね一、関節円板っていう、ま一、纖維軟骨でできたクッションみたいなものがあるんです。これが毎日毎日、私たちが物を噛む時の、あの強烈なストレスを全部吸収してくれてるんですね。でもその分、このクッションは常に摩耗し続けているわけです。体にとっては、もうこれは、終わりのない修復作業の始まりを意味してるんですね。



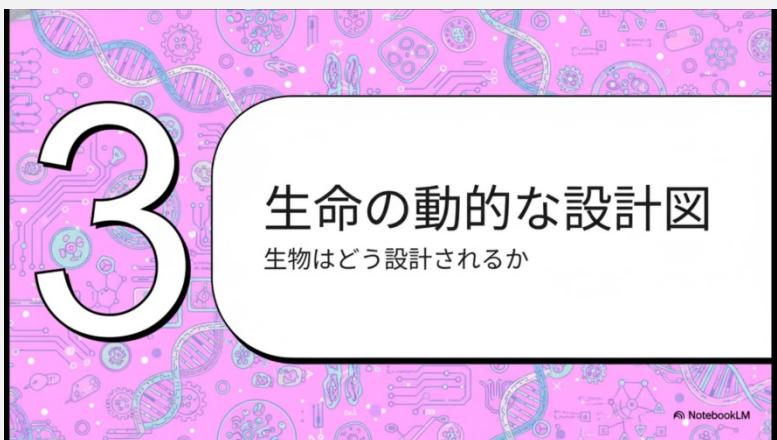
じゃあ、体は、この終わりのないダメージに、一体どうやって反応するんでしょうか。実はですね、完璧を目指すっていうことはしないんです。もっと賢い方法を取る。それこそが、今回のキーワード、最適化なんですね。



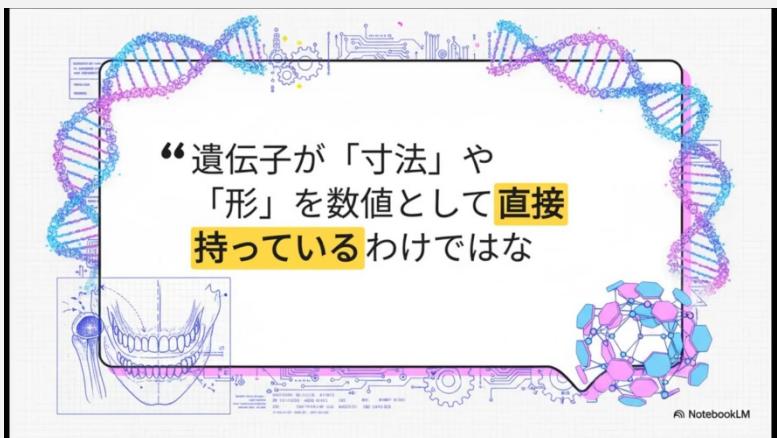
これ道路の工事で考えると、すごく分かりやすいんですよ。例えば、道路に穴が開いたとしますよね。その時、交通を完全にストップさせて、ものすごく時間をかけて完璧に舗装し直すより、まずは応急処置で、ささっと穴を埋めて、車が、また通れるようにする方が、ずっと合理的だと思いませんか。体も全く同じで、機能を止めないってことが、何よりも最優先事項なんですね。



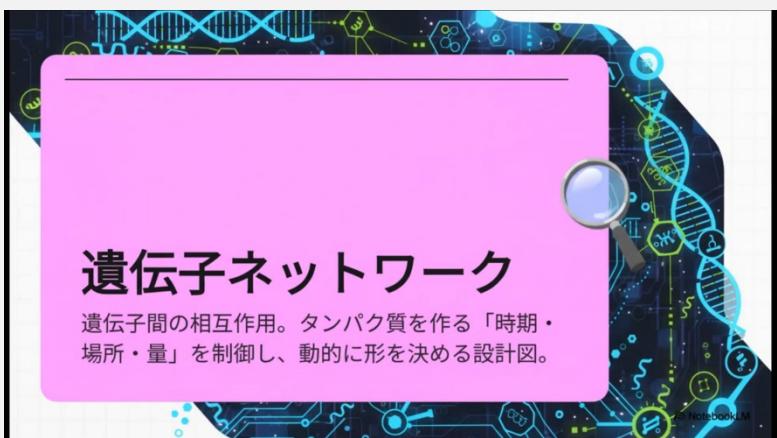
もう少し具体的に、そのプロセスを見てみましょうか。まず免疫細胞が、損傷をキャッチして、壊れた細胞の破片なんかをお掃除します。で、次に軟骨の細胞が、コラーゲンなんかを作って、クッション性を部分的にですけど回復させる。そして最後に、組織全体を再編成して、特に力がかかる部分を補強するんです。これで完璧に元通りにはならないかもしないけど、機能的には十分な状態を取り戻せる。いや、実に賢いですよね、この仕組み。



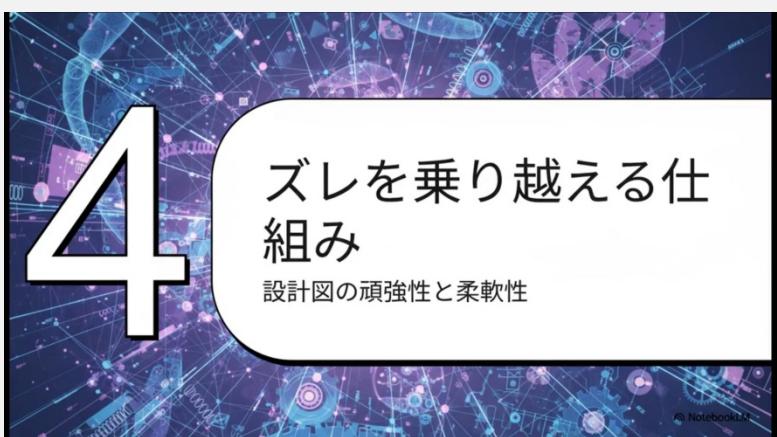
この最適化っていう考え方すごく面白いですね。で、これをより深く理解するために、ここで、ちょっと視点をぐっと広げてみましょう。そもそも生命って、どういう風に設計されているのか、その設計図の話をしたいと思います。



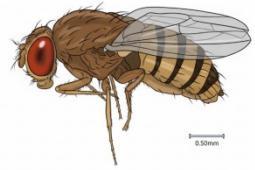
私たちって、ついつい遺伝子の中に、体の寸法とか、形がカチっとした数字として書き込まれてる。そういう固定的な設計図をイメージしがちじゃないですか。でもこの引用が示しているように、現実はもっとずっとダイナミックなものなんです。



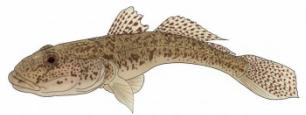
生命の設計図っていうのは、静的な1枚の図面でよりは、むしろ遺伝子ネットワークっていう、動的なレシピ、あるいはアルゴリズムみたいなものなんです。遺伝子同士が、こう、お互いに影響し合って、いつ、どこで、どれくらいの量のタンパク質を作るかを、コントロールしている。このフィードバックのループを通じて、固定的な指示じゃなくて、すごく柔軟に形が作られていくんですね。



なるほど、と。じゃあもし、その計画通りに物事が進まなかつたら、どうなっちゃうんでしょう。でも大丈夫。この動的な設計図には、そういうズレを乗り越えるための、素晴らしい戦略がちゃんと組み込まれてるんです。



**カナリゼーション（頑丈性）**: 小さなズレを自己修正し、同じ形に戻ろうとする性質。



**表現型可塑性（柔軟性）**: 環境の変化に応じ、別の完成形を選んで成長する。

1つはカナリゼーション。これは頑丈性とも言われますけど、小さなズレが起きても、それを自己修正して、ちゃんと目標の形に戻す力のことです。例えばショウジョウバエの足が細胞の数が多少ばらついても、きっちり5つの節に分かれて出来上るのは、このおかげなんです。で、もう1つが表現型可塑性。これは柔軟性ですね。環境がガラッと大きくなったら、あらかじめ用意されてた別の完成系を、いわば選択する能力です。熱帯に

いるハゼが水の流れの強さに応じて、ヒレの大きさを変えるなんていうのが、すごく良い例ですね。

# 5

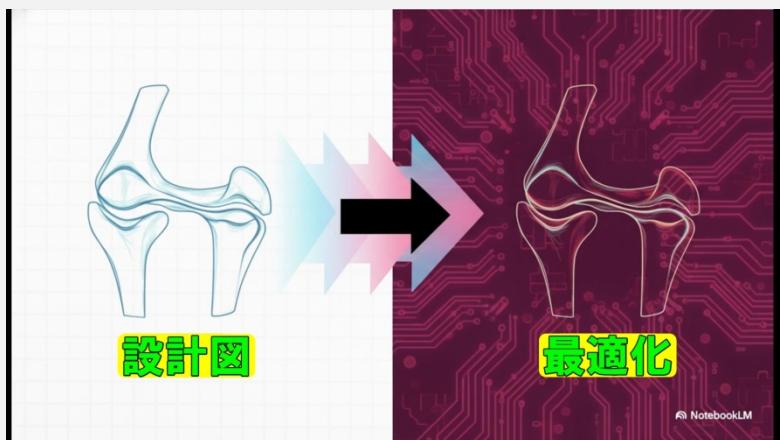
## 進化する「理想の位置」

設計図から生涯の適応へ

さて、ここまで最適化と動的な設計図っていう、2つのパワフルな概念を見てきました。ここからが、いよいよクライマックスです。この話を、もう一度出発点だった、顎の関節に結びつけてみましょう。



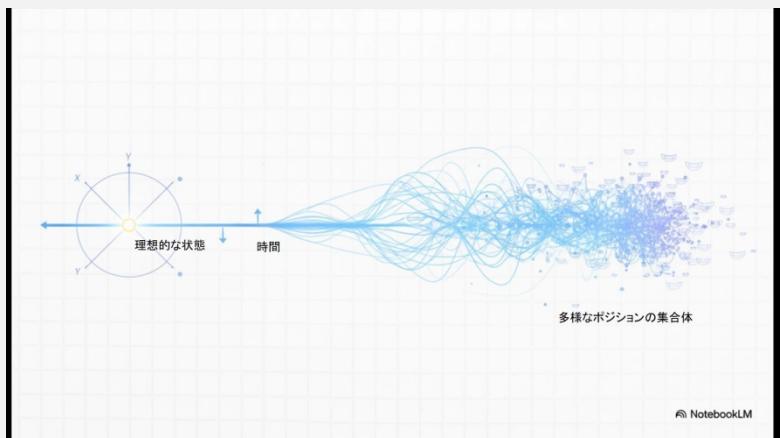
専門的な言葉で中心位っていうのがあるんですけど、これは理論上の、ま、理想的とされる顎の位置のことです。これを生まれ立ての頃の、いわば初期の設計図によって定められた1つのユニークなポジションだと考えてみてください。



でも、面白いことに、私たちの人生を通じて、このたった 1 つの理想的なポイントは全く別のものへと、その姿を変えていくんです。そう、ここで設計図から最適化への大きなシフトが起こるんですね。



このスライドが、その変化の物語を見事に描き出しています。生まれた時には、設計図のような 1 つの理想的な位置。それが子供の頃になると、体の成長とか歯の生えわりに適用していく。そして成人期には、日々の摩耗やストレス、あるいは歯の治療なんかに応じて、絶えず最適化を繰り返すわけです。そして老年期には、その人が生きてきた、一生分の使用履歴によって形づくられてきた、機能的で、そして多様な位置へと、たどり着くんですね。



というわけで、ここから言える 1 番大事なポイントは、これです。頸の位置っていうのは、たった 1 つの理想的な状態から始まって、時間をかけて最適化された多様なポジションの集合体へと進化していくんです。つまり初期の設計図っていうのは、あくまでスタート地点に過ぎないということなんですね。

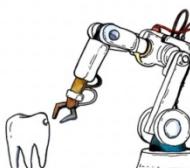


[notebooklm.google.com](http://notebooklm.google.com)

## ナソロジー2.0：AIが創る歯科の未来

NotebookLM

## ナソロジー2.0：AIが創る歯科の未来



こんにちは。いや、歯医者さんって聞くとどうですかね。やっぱりあのキーンっていう音とか独特な匂いを、思い浮かべる人多いんじゃないでしょうか。でも今、その世界でものすごく静かなでも大きな革命が起きてるんです。その主役がなんと AI。AI が僕たちの歯の未来をどう塗り替えようとしているのか、その最前線ちょっと覗いてみましょうか。

## もしAIがあなたの次の歯をデザインしたら？

NotebookLM

というわけで、いきなりですけどちょっと想像してみてください。もし、あなたの次の歯の治療をするのが熟練の歯医者さんじゃなくて、AI だったらどうします。ちょっと不安ですかね。それともなんかワクワクしますか。実はこれもう SF の世界の話じゃなくて、本当にすぐそこまで来てる未来の話なんですよ。

# 1

## 歯科治療の「古いやり方」

石膏と廃棄物の世界

NotebookLM

じゃあ、そもそもなんで AI なんて必要になるのって話ですよね。それを知るために、まずは今のというか、ほんの少し前の歯科治療の裏側を覗いてみましょう。そこはですね、石膏つまり、プラスターの白い粉とものすごい量の廃棄物が溢れる世界だったんです。



ナソロジー1.0: 石膏模型、手作業、物理的な廃棄物。



ナソロジー2.0: AIソフトウェア、デジタルデータ、効率性。

NotebookLM

この変化を分かりやすく言い表すとまさにこれナソロジー1.0 と 2.0 です。ナソロジーっていうのは、ま、噛み合わせの科学のことなんですけど、要するに左側が石膏模型と人の手作業に頼ってた、言ってみれば昨日までの世界で、右側が AI とデジタルデータを使いこなすこれからの中。この違いこそが、今回の話の肝なんですね。

## 石膏模型の問題点

- ・高価な精密印象材
- ・使用後の大量の石膏廃棄物
- ・保管に物理的なスペースが必要
- ・非効率で散らかる作業工程



© NotebookLM

なんで変革が必要だったのか、この1.0の世界には結構大きな課題がいくつもあったんです。まず、精密な型を取るための材料がびっくりするくらい高い。で、使い終わった石膏模型はただの産業廃棄物になっちゃう。さらに深刻なのが保管場所です。患者さん1人1人の模型を何年も取っておく棚で、もうクリニックの裏側はパンパンだったわけです。これ、めちゃくちや非効率ですよね。

2

## ナソロジー2.0：デジタルの未来

廃棄物は減り、データは増える

© NotebookLM

そんな課題だらけの状況をじゃあテクノロジーはどう解決するのか。いよいよ未来の話です。ナソロジー2.0の世界へようこそ。ここでの合い言葉はすごくシンプルで廃棄物は減らしてデータは増やす。これです。

## ナソロジー2.0

コンピュータを前提とした新しい歯科治療法。物理的な材料を使わず、デジタルデータで歯冠を設計する技術。



© NotebookLM

そもそもナソロジー2.0って一体何なのか。一言で言うと、コンピューターの中で治療を全部終わらせちゃうっていう、新しいアプローチなんです。もう粘土みたいな材料で口の型を取る必要はない。口の中を3Dスキャナーで読み取って、そのデジタルデータ上で、まるでゲームみたいに顎の動きをシミュレーションする。で、その人に完璧にフィットする歯をPCの中で設計しちゃうっていう技術なんですね。

## デジタルの利点

- ・材料費と廃棄物をゼロに
- ・電子保存で保管スペースが不要
- ・歯列と顎運動データをセットで管理
- ・患者の経時的变化を追跡可能



© NotebookLM

このデジタル化のメリット。これが、もう、とてつもなく大きいんです。まず高価な材料もゴミも0になる。コストも環境への負荷も一気に下がりますよね。データだから保管場所もいらない。そして何よりすごいのが歯の形と顎の動きをセットで記録できることなんです。これによって数年前のデータと比べて、最近、噛み合わせがどう変わったか、なんてことまで正確に追えるんですよ。いや、これって革命的じゃないですか。

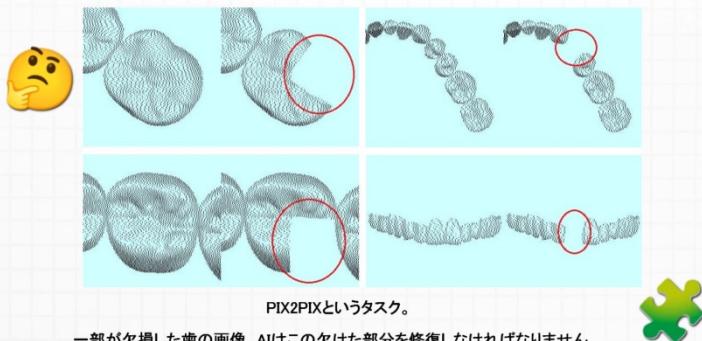
# 3

## AIに歯の修復を教える

2次元での概念実証

AI NotebookLM

なるほど、と。じゃあ、その AI はどうやって良い歯の形なんていう、結構難しいものを学習するんでしょうか？その秘密を解き明かすために、あるシンプルな実験を見てみましょう。これはまだ 2 次元、つまり平面の話なんですけど、AI がどういう風に考えているのかが、驚くほどよく分かるんです。

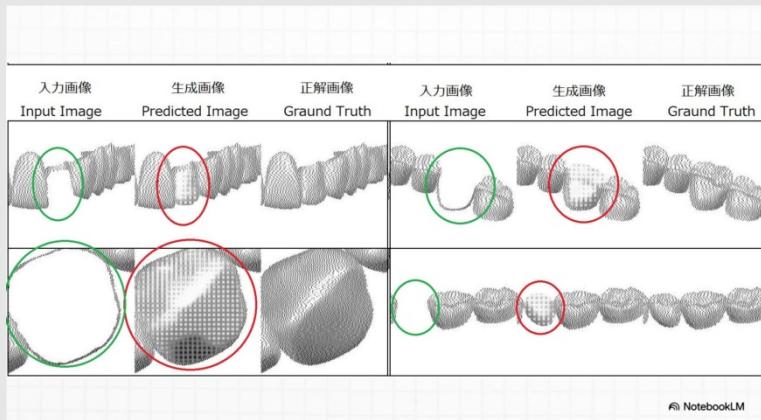


PIX2PIXというタスク。

一部が欠損した歯の画像。AIはこの欠けた部分を修復しなければなりません。

AI NotebookLM

AI に与えられたお題は、この 1 枚の絵。一部が欠けちゃった歯の画像ですね。AI の仕事はこの欠けた部分が、本来どうあるべきだったかを想像して書き足すこと。さあ、AI はどんな答えを出してくるんでしょうか？



AI NotebookLM

じゃあ実際の正解と比べてみましょうか。こちらが元々の完全な歯のかたちです。AI の答えと見比べてみてどうでしょう？うん、完璧とまではいかないですけど、かなり近い線いってると思いませんか？この実験が示してるのは、AI が単に画像を処理してるんじゃないくて、歯のあるべきかたちっていう概念、そのものを理解し始めてるってことなんです。これは驚くべき可能性ですよ。



Veo

「AIは欠損した部分を修復していますが、完全ではありません。このようなことを3次元の点群で行いたい。」

まさに、この実験を考えた人もこう言ってるんです。AI の修復は、まだ完全じゃない。でも、ここでの目標は、この考え方を平らな 2 次元じやなくて、本物の歯みたいな複雑な 3 次元のデータに応用することなんだ、と。つまり、このシンプルな実験は、いずれ立体的な歯を AI が自動で設計するために、ものすごく重要な第一歩ってわけですね。

## AIの理解における4段階

1. 単独の歯  
個々の歯の形状を理解する。
2. 歯列の中  
隣接する歯との関係で歯の形状を理解する。
3. 全体の噛み合せ  
対応する歯との関係を理解する。
4. 動きの中  
顎の動きの中で歯の形状を理解する。

© NotebookLM

AIの学習って、なんだか人間みたいにちゃんとステップを踏んで進んでいくんですよ。まずは、歯1本1本の形を理解するところから。次に、それが歯列の中で、隣の歯とどういう関係にあるのか。さらに上下の歯がどう咬み合うのか。そして、最終的には、顎の動きというダイナミックなシステム全体の中で、その歯がどう機能するのか、そこまで学習していくんですよ。

# 4

## AIが創る未来の歯冠

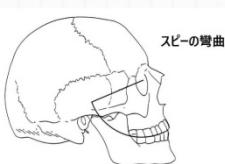
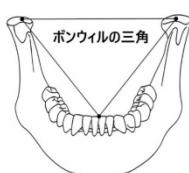
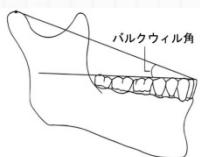
作成者から検査者へ

© NotebookLM

さてこの技術が実用化されると現場のプロフェッショナル、例えば、歯科技工士さんの仕事ってどう変わっていくんでしょうか？結論から言っちゃうと、その役割は、ゼロからかたちを作る作成者から、AIの仕事を評価する検査者へと劇的に変わっていきます。

## 人間が発見したルール

- ・ポンウィルの三角
- ・バルクウィル角
- ・スピーアの彎曲



© NotebookLM

これまでの歯科技工士さんは、理想的な噛み合わせを作るために、解剖学の教科書に出てくるような、ものすごく複雑な法則を、いくつもマスターする必要があったんです。例えば、ポンウィルの三角とかスピーアの彎曲とか、これって、ま、完璧な歯を作るためのいわば、秘伝のレシピみたいなもんですね。

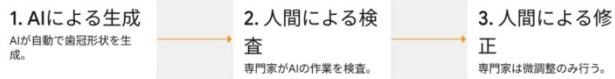
人間が発見した複雑なルールを、AIは自ら学習します。人間が細かく指示する必要はありません。



でも、ここからがAIのすごいところです。人間が、何十年もかけて発見して体系化してきたこれらの複雑なルールを、AIは大量の正しい歯のデータを学ぶだけで、なんと自ら発見しちゃうんです。人間が、この角度はこうしてね、なんて、いちいち教え込む必要がもうないんです。

© NotebookLM

## 新しいワークフロー



© NotebookLM

その結果、未来の仕事の流れはこうなります。まずAIが瞬時に最適な歯の形をデザインする。次に人間の専門家が、プロの目でそのAIのデザインをチェックして、うん、これなら完璧だと承認する。そして最後に、もし必要なら、ほんのちょっとだけ微調整を加える。人間の役割は、創造者からAIが生み出したものの品質を保証する、最終監督者へと変わっていくわけです。



歯冠とフレームの設計を完全に自動化し、すぐに製造工程に入れる状態にすること。



© NotebookLM

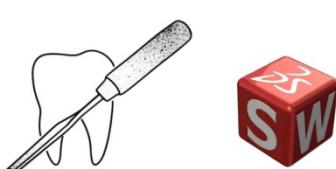
そして、これが究極のゴールです。歯そのものだけじゃなくて、それを支える土台のフレームの設計まで、全部を完全に自動化する。で、ボタンを1つ押せば、そのまま3Dプリンターなんかの製造ラインに送れる状態にすること。これが実現したら、オーダーメイドの歯が驚くほどのスピードと精度で、誰でも手に入れられるようになるかもしれないんです。

あなたの仕事は、AIとどう協力していきますか？

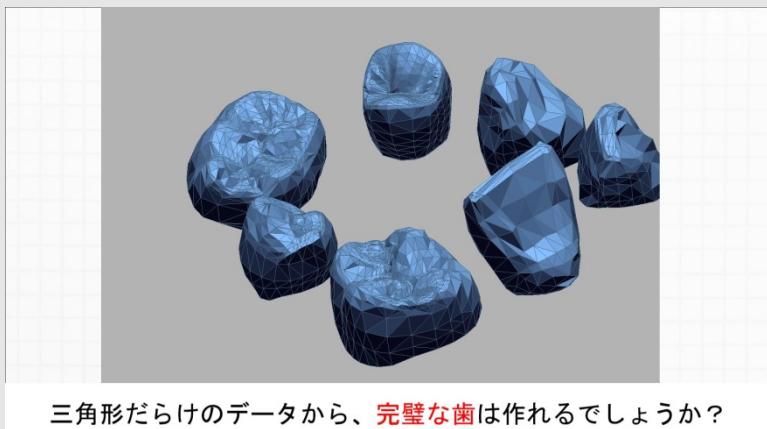
© NotebookLM

さて、ここまで歯科治療という世界の大きな変革を見てきました。でも、これって歯医者さんだけの話じゃないはずですよね。最後にこの問いを、皆さんにあなたの仕事、あなたの業界は、これからAIと、どう協力して、どんな未来を作っていくんでしょうか？今日の話が何か、そのヒントになっていれば嬉しいです。

## デジタル歯科の次の一手



こんにちは。さあ、今日は、デジタル歯科設計の世界を、グッと未来に進めるお話を。普段皆さんのが使っている3Dファイルありますよね。あれが持っている限界を、どうやって超えるのか。そしてソリッドワークスを使って、まるで彫刻みたいに本当に完璧な歯の形を作り出す。そのための方法と一緒に見ていきましょう。



三角形だらけのデータから、**完璧な歯**は作れるでしょうか？

まず、いきなりですけど、皆さんに 1 つ質問です。この無数の三角形でできたデータから、本当に完璧な歯って作れるんでしょうか？これが今回僕たちが探っていく、1 番大事なテーマになります。この答えの中に、デジタル歯科の次のステージへのヒントが、隠されているんです。

# 1 デジタルな歯の挑戦

「デジタルの石」の問題点

© NotebookLM

よし、じゃあ、その課題の核心に迫っていきましょう。まず見ていきたいのは、今のデジタル歯では当たり前に使われている技術でも、実は結構な弱点を抱えているというお話です。ここではそれを「デジタルの石」っていうちょっと面白い例えで考えてみたいと思います。

## STLデータ

3Dデータの最も一般的な形式。無数の点群とそれらを連ねた三角形ポリゴンで構成されています。

© NotebookLM

その「デジタルの石」の正体、それがこの STL データです。歯科用の CAD をやっている方ならもうお馴染みですよね。3D データの最も一般的な形式で、その表面は見ての通り、たくさん小さな三角形が集まってできています。まあ、言ってみれば、デジタルの世界で立体を表現するための、1 番基本的なブロックみたいなものですね。

## 歯科設計におけるSTLの弱点

- ・エッジ（フィニッシュライン等）の再現が困難
- ・曲面の表現には多くのデータが必要
- ・高精度モデルはPCの動作を低下させる
- ・形状の編集が難しい

© NotebookLM

でもこの「デジタルの石」、結構、厄介な癖があるんです。考えてみてください。フィニッシュラインみたいな、キリっとシャープな線をカクカクした三角形の集まりで綺麗に表現するのってすごく難しい。歯が本来持ってる、あの滑らかで有機的なカーブも苦手です。で、精度を上げようとして、三角形の数を増やすと、今度はファイルがめちゃくちゃ重くなってしまってパソコンが、うんうん唸り出す。そして何より一度

作った形を、後から、あ、ここをもうちょっとだけって、直すのが本当に大変。まさに「硬い石」みたいに融通が効かないんですよね。

# 2

## 「デジタルの粘土」

新しいモデリング手法

© NotebookLM

“硬い石ではなく、柔軟な  
デジタルの粘土から歯を  
彫刻する”

© NotebookLM

## サブディビジョン (Sub-D) モデリング

粘土細工のように、複雑な形状を直感的に、かつ  
編集しやすく作成するモデリング技術。



© NotebookLM

# 3

## 2つの強力なツール

SolidWorksにデジタルの粘土を



© NotebookLM

じゃあ、この「カチカチの石の問題」どうすればいいのか。ここで、発想をがらっと変える必要があります。次のセクションでは、デジタルの粘土とも言える全く新しいモデリングのアプローチを紹介します。

まさにこの言葉が全てを表しています。硬くて融通の効かない石を、ガリガリ削るんじゃなくて、まるで粘土をこねるみたいに、自由自在に直感的に歯をデザインする。このパワフルなコンセプトを可能にするのが、サブディビジョンモデリング。通称「サブ D」と呼ばれる技術なんです。

このサブディビジョンモデリングっていうのは、まさにデジタルの粘土そのものです。どういうことかと言うと、いくつかの大変なポイントをちょっと動かすだけでサーフェス全体が滑らかに、そして有機的に繋がったまま形を変えてくれる、そんな魔法のような技術なんですね。

さて、このすごく便利なデジタルの粘土。これを僕たちが普段使っている工業設計のツール、ソリッドワークスの中でどうやって使うのか気になりますよね。実はそのための強力なソリューションが、ちゃんと 2つ用意されているんです。

特徴	xShape	Power Surfacing
タイプ	ブラウザベース	アドオンソフトウェア
環境	3DEXPERIENCE	SolidWorksに統合
アクセス	3D Sculptorロール	Integrity Ware社から購入
ワークフロー	クラウドベース	デスクトップベース

© NotebookLM

ここが面白いところで、同じ目的を達成するためにアプローチが違う 2 つの選択肢があるんです。1 つはブラウザ上で動く Xshape。これはクラウドがベースなので、場所やデバイスを選ばずに作業したいっていう人には最高ですね。そして、もう 1 つがソリッドワークスに直接インストールするアドオン、Integrity Ware 社製「Power Surfacing」。これは使い慣れたデスクトップ環境でじっくりパワフルに作業

したい人向けです。あなたのワークスタイルに合わせて選べる、どちらも「サブ D モデリング」を実現するための、全く同等に素晴らしい選択肢と言えます。

# 4 簡単な編集の秘密

構造こそが全て

© NotebookLM

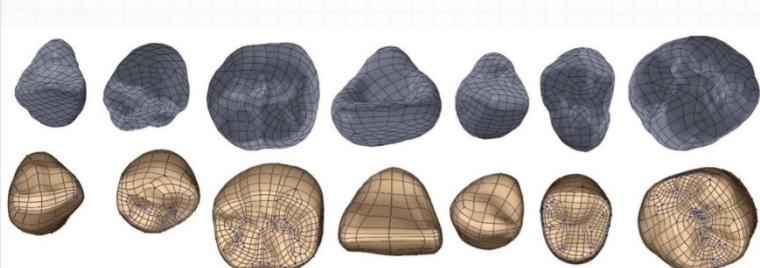
なんでサブ D モデリングだと、あんなに簡単に直感的に形が変えられるのか。その秘密知りたくないですか？実はあの滑らかな見た目の裏には、めちゃくちゃ大事な構造が隠されているんです。その核心を次のスライドで見てみましょう。



ソフトウェアが自動生成したサーフェスは、メッシュが乱雑で編集が困難です。

© NotebookLM

はい、まず、これが一般的な課題です。点群データなんかから、ソフトが自動でサーフェスを作ると、まあ大体こうなります。見てください、この編み目。もう、ぐちゃぐちゃでどこが、どう繋がってるのか分からぬ。これじゃ、この部分だけをちょっと膨らませたいなんて思っても、狙った通りに修正するの至難の技です。



編集のために手作業で分割された、規則正しい四角形のメッシュ。これにより自由な編集が可能になります。

© NotebookLM

一方でこちらが理想的な状態です。どうです？この美しく成列した四角系のメッシュ。流れがちゃんとデザインされてますよね。この意図的に作られた綺麗な構造こそがあの粘土のような自由自在な編集を可能にする鍵なんです。まさに編集するために設計されたサーフェスってことですね。

## 構造化サーフェスの編集方法

1. 交点を特定する  
メッシュの縦横の交点が編集ポイントになります。
2. ポイントを選択する  
編集したいポイントを1つまたは複数選択します。
3. 形状を彫刻する  
ポイントを押したり、引いたり、移動させて形を整えます。

© NotebookLM

じゃあ、この綺麗に整ったメッシュ、どうやって編集するかって言うと、これがもうびっくりするくらいシンプルなんです。この縦と横の線が交わっている点が、粘土をこねる指の役割を果たします。その点を、マウスで掴んで、グイっと引っ張ったり、キュッと押し込んだり、動かしたり本当にたったこれだけで、粘土細工するあの感覚で直感的かつ、すごく精密に形をコントロールできるんです。

### サーフェスの接続形式



#### AIによる歯冠形状自動生成において、確認すべきこと。

- ・歯の形状の、機能的で構造的な、AIによる自動分割は、まだ実現された技術ではない。
- ・「サブディビジョン・サーフェス」は、面と面を接続するとき、曲率接続しかできない。接続方法の選択肢として、位置連続の接続ができるようになるとよい。マージン部と歯の軸面部の接続に必要な機能。

AIによるしかん形状自動生成において、確認すべきこと。歯の形状の、機能的で構造的なAIによる自動分割は、希望していることであって、現在では、まだ実現された技術ではないんですね。現在の「サブディビジョン・サーフェス」は、面と面を接続するとき、曲率接続しかできないんです。接続方法の選択肢として、位置連続の接続が、できるようになるといいなーと思います。これはマージン部

と歯の軸面部の接続に必要な機能なんですよ。

# 5

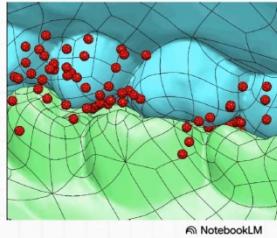
## 1本の歯からその先へ ワークフローの未来

© NotebookLM

さて、ここまで1本の歯を、いかに美しく効率的に作るかという話をしました。でもこのツールがもたらす可能性っていうのは、それだけじゃないんです。あなたのラボやクリニックのワークフロー全体を、全く新しいレベルへと引き上げる、とんでもない力を持ってるんですよ。

## SolidWorksの更なる可能性

- 頸の動きや咀嚼のシミュレーション
- 食片がどのように排出されるかの解析
- オリジナルの歯科用器具や咬合器の設計
- 設計したモデルの3Dプリント



ソリッドワークスっていうのは、元々がすごく懐の深いプラットフォームなんで、できることの幅が半端じゃないんです。例えば、作った歯で顎の動きをシミュレーションしたり、食べ物が、歯の上をどういう風に流れていくのかを解析したり、もつと言えば、自分で考えたオリジナルの歯科用器具とか、全く新しいコンセプトの咬合器を設計して、それを3Dプリンターで現実のものにすることだってできる。もう、これは単に修復物を作るツールじゃなくて、歯科医療そのものをデザインするための、イノベーションを生み出すための道具箱なんです。

あなたのワークフロー  
は、次の進化への準備  
ができていますか？

というわけで、今回は「デジタルの石」を扱う時代から、デジタルの粘土をねる時代へ、歯科モデリングの最前線をご紹介しました。最後に皆さんに、この問い合わせを投げかけて、この解説を締めくりたいと思います。さあ、あなたのデジタルワークフローは、この次の進化を受け入れる準備できていますか？



[notebooklm.google.com](http://notebooklm.google.com)

## 科学・宗教・天皇の統合

### 科学・宗教・天皇の 統合



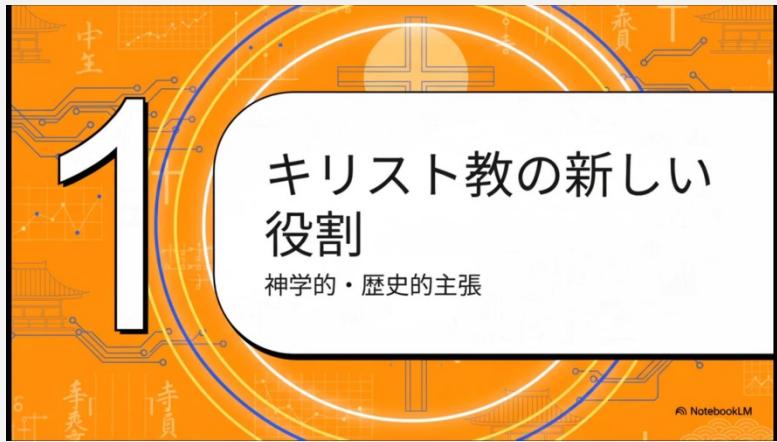
科学と宗教、そして天皇。一見全く交わらな  
そうな、この3つが1つに統合される。そん  
な未来想像できますか。今日はですね、現代  
が直面している、ま、一種の知の危機とでも  
言うべきものに対して、日本の社会構造その  
ものを根底から見直そっていう、とんでも  
なく壮大で、かつ大胆な知的挑戦について、  
じっくりと解き明かしていきたいと思います。



さて、まず見ていただきたいのがこの数字。  
たったの1%。これ、何だか分かりますか。実  
はこれ、今の日本にいるキリスト教徒の割合  
なんですね。それにしてもなぜこんなに少な  
いんでしょうか。この古くて新しい問い合わせ  
して、ある研究者が示した答えが、まあ、こ  
れが私たちの想像をはかに超えるものだった  
んです。

解決策がシステム理論  
と天皇を巻き込むもの  
だとしたら？

もしその答えがですよ。システム論とかAI。  
そして、なんと日本の天皇陛下までを巻き込  
む壮大な話だとしたら、ちょっとにわかには  
信じがいですよね。今日のこの解説では、こ  
のまあ、かなり挑発的な問をきっかけに、私  
たちの常識をひっくり返すような理論の、構  
造を1つ1つ解き明かしていきます。



はい、では早速その壮大な理論の出発点から、見ていくことにしましょう。全ての始まりは、キリスト教に対して、これまでとは全く違う新しい役割を与えようっていう神学的であり、そして歴史的な主張、ここからなんです。



その提案っていうのが、もうこれ以上ないつてくらい大胆なんですよ。なんと天皇陛下に日本におけるキリスト教の「中興の祖」つまり、もう1度盛り上げるための開設者になつてもらうというものなんです。これ大事なのは、今までの神道とか、仏教を否定するわけじゃないんですね。むしろそれらを全部ひつくるめた上で、新しい形でキリスト教を位置づけようとする、日本の宗教観そのものを搖

がすような、非常にチャレンジングなアイデアなんです。



でもなんで、また天皇陛下なんでしょうか。その根拠は日本の歴史の中で天皇が担ってきた他に類を見ない、特別な宗教的な権威にあるんですね。例えば、元々天皇という称号は古代中国の宇宙觀から來ていたり、7世紀には天武天皇が國の象徵として、その地位を固めました。さらに時代が下って、17世紀から19世紀にかけて、日本に來た西洋人、例えばケンペルなんかの目には、「天皇は神道と仏教、その両方のトップに立つ、まさに教皇のような存在」として映っていたわけです。つまりあらゆる宗教的な権威を、1つにまとめられる可能性を秘めた歴史的な立場、これこそが、この提案の肝になる部分なんです。



さて、この提案、ただ歴史的な役割に注目するだけじゃないんです。キリスト教のまさにど真ん中にある教えそのものに、新しい解釈を持ち込むんですね。それが、この自己救済という考え方の全く新しい定義なんです。その新しい教えの核心部分が、この一文にギュっと詰まっています。「自己救済の道とは、復活されたイエス・キリストと共に歩むこと」。うーん。これだけ聞いても一体どういうことなのか、ちょっとピンとこないですよね。



その答えのヒントは、あの十字架の上での、ある種のパラドックスにあるんです。周りの群衆は叫びましたよね。「自分を救ってみろ。十字架から降りてこい」って。でもキリストが示した本当の自己救済っていうのは、奇跡を起こして、死から逃げることじゃなかった。むしろ逆で、自分は無実なのに、法っていう社会のシステムをちゃんと受け入れて、死んでいくこと、そのものだったんですね。この理論では、これこそが本当の強さであり、本

当の意味での自己救済なんだと解釈するわけです。



で、この話、ここからがすごいんですよ。さらに大胆なジャンプを見せるんです。キリストが死んで、そして復活したことで、私たち人類の能力に 2 つの大きな変化が起きたというんですね。1 つは封印された力で、もう 1 つは開かれた力。まず封印されちゃったのが、時間的主観性。これは例えば、水をワインに変えるみたいな時間を操る奇跡のことです。これはキリストの肉体と結びついていたから、彼が亡くなると同時に失われたと。でも、その代わりにです。全人類に新たに開かれた力があった。それが空間的主観性。これこそが、この後の、科学の時代を神学的にオッケーだよって認める、この理論のめちゃくちゃ重要な鍵になるんです。



じゃあ、その「空間的主観性」って一体何なのか、すごく簡単に言っちゃうと、それはこの宇宙の仕組みを、君たちが解き明かして、なんなら作り替えちゃってもいいよっていう、神様から与えられたライセンス許可証みたいなものなんです。だから物理学とか科学、工学、ありとあらゆる科学的な探求っていうのは、実はキリストの復活によって与えられた、この権威に基づいてるんだよって、この提案は主張してるわけです。すごい話ですよね。



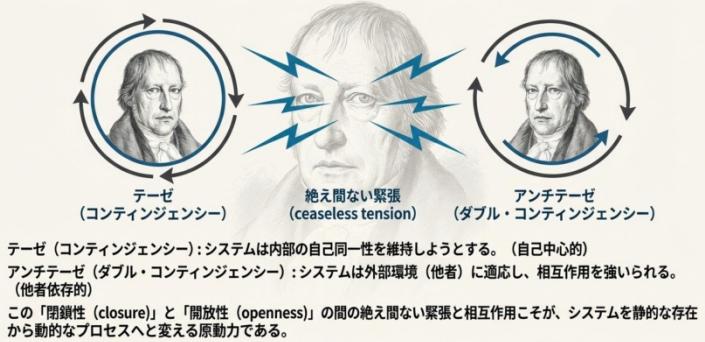
さて、ここまで神学的な話が続きましたけど、じゃあ、このアイデアをどうやって科学的なモデルに落とし込んでいくのか、そのフレームワークを見ていきましょう。そもそも自己ってものをどうやって科学的に捉えるんでしょうかね。



そこで、登場するのがオートポイエシスっていう、これがまた非常に重要な概念なんです。聞いたことがありますかね。社会学者のニクラス・ルーマンていう人の理論の中心的な考え方で、ギリシア語で「自己・オートを作る・ポイエシス」っていう意味なんです。例えば私たちの体、食べ物っていう外部のものを取り入れながら、体の中では自分で細胞を作つて皮膚っていう境界線を保つて、私っていうシステムを維持し続けてますよね。

こんな風に、自分自身を自分の中から作り続けていく仕組み、これがオートポイエシスです。

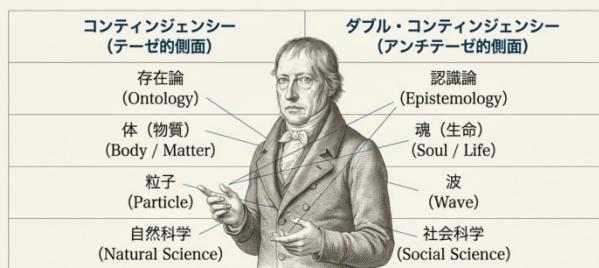
## 弁証法的運動：二つの自己の相克が生み出すダイナミズム



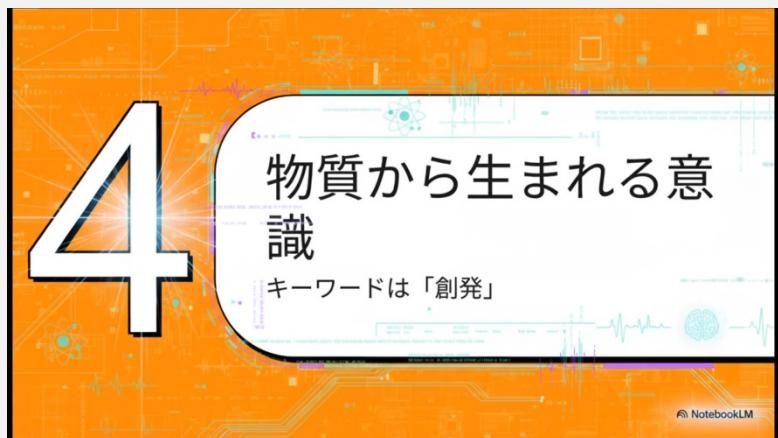
で社会的な自己。この2つがあると考えるんですね。

### 文脈：万物に宿る弁証法「構造的カップリング」

このテーゼ/アンチテーゼの構造は、単一の事例に留まらない。ソース資料は、これが世界を記述する普遍的な文法であることを示唆している。



態。この理論は、この構造が哲学で言う存在とは何かと、どうやって知るかの関係とか、さらには、神学の「死と復活」の関係にまで、ピタッと当てはまるんだって言うんです。壮大ですよね。



で、なんでまたこんな難しい概念が必要なのって、思いますよね。それは自己が自己を救っていう言葉って、よく考えると、「あれつ」て、なりませんか。論理的に堂々巡りしちゃう。その罠を避けるためなんです。この問題をクリアするために、この理論では自己を2つの顔を持つシステムとして捉え直すんです。1つは自分の内側だけを見ているプライベートな自己。そして、もう1つが、他人とのやり取りの中で、コロコロ変わっていく外向き

そして、ここからがこの理論の、もしかしたら1番すごいところかもしれません。この内向きな自己と外向きな自己っていう二重構造がなんと、全然違う、いろんな分野で、共通してみられる普遍的なパターンなんだって言うんですよ。例えば、量子力学。電子とかって観測される前は、波みたいに可能性として広がってますよね。これがパブリックな状態。で、観測した瞬間に粒子として、ここにいるって確定する。これがプライベートな状

さあ、こうやって自己をシステムとして捉える視点を持つと、いよいよ次の大きな間に進めます。それは、この物質でできている脳の一素から形のない意識って、どうやって生まれてくるのっていう、究極な問です。その答えの鍵を握るのが、創発というキーワードなんですね。



#### 意識の神経基盤：ダイナミック・コア仮説 ジェラルド・エーデルマン & ジュリオ・トノーニ

意識は脳の特定部位に局在するのではなく、広範囲の神経細胞群の相互作用から一時的に創発する動的なプロセスである。

- 高度な統合 (High Integration) : 多数の神経細胞群が、一つのまとまった全体として機能する。
- 高度な分化 (High Differentiation) : 同時に、各々の細胞群は異なる情報を処理しており、システム全体として膨大な数の状態を取りうる。

この「統合されつつ、分化している」という弁証法的な状態こそが、意識の物理的基盤である。

「創発」、英語で言うとイマージェンスですね。

これ一言で言うと、全体はただのパーツの足し算じゃないよっていう現象のことです。例えば水分子、H<sub>2</sub>O、この分子1つ1つには濡れてるっていう性質はないんですよ。でも、それがたくさん集まると、僕らが知ってる濡れるっていう、全く新しい性質が生まれますよね。こんな風に、1個1個の部品にはない性質が、たくさん集まって相互作用する中で、全体としてふわっと現れてくる。これが創発

です。

### 創発とトップダウンの因果関係

#### 創発 (Emergence)

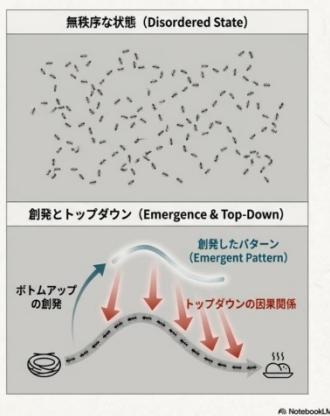
「より単純な構成要素の相互作用から、それらの要素自体には存在しない、より高次で複雑な特性が生まれる」現象。

#### アリのコロニー

- 個々のアリは単純な規則に従うだけ（ボトムアップ）。
- コロニー全体としては、最短経路の発見など「知的」な振る舞いが創発する（高次パターン）。

#### トップダウンの因果関係 (Top-Down Causality)

- 創発した高次のパターン（コロニーの知性、人間の意識）が、下位レベルの構成要素（個々のアリ、神経細胞）の活動を逆に制約・制御する。
- これにより、システムは全体としての一貫性を保ち、自己を維持する。



この創発の一番分かりやすい例が、よく言われるアリの巣、コロニーですね。1匹1匹のありって、実はすごく単純なルールで動いてるだけなんです。これが下から上へのボトムアップの動き。でも巣全体としてみると、どうでしょう。餌場までの最短ルートを見つけて出すみたいな、めちゃくちや知的な振る舞いをするじゃないですか。このコロニー全体の知性こそが創発によって生まれた性質なんですね。で、面白いのは、今度はその全体の知

性が、個々のアリの動きをコントロールする。上から下へのトップダウンの力も、生み出します。



じゃあこの創発っていう考え方を、いよいよ僕たちの意識に当てはめてみましょう。この理論では、意識を2つのレベルで考えます。まず他の動物にもあるような、言葉を必要としない基本的な一次意識。そして僕たちの脳の、あの、とてもなく複雑な神経ネットワークから創発してきたのが、人間だけが持つ高次意識です。これは「あっ、今自分は意識してるな」って、自分自身を客観的に見れる

能力のこと。このメタな視点こそが、高次意識の正体だというわけです。

## デカルト二元論の再解釈：創発的二元論へ

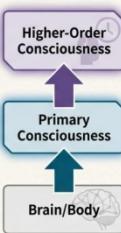
### Traditional Dualism (Descartes)

- ・思惟実体 (res cogitans): 非物質的な心
- ・延長実体 (res extensa): 物質的な身体
- ・Problem: この二つがいかにして相互作用するのか？



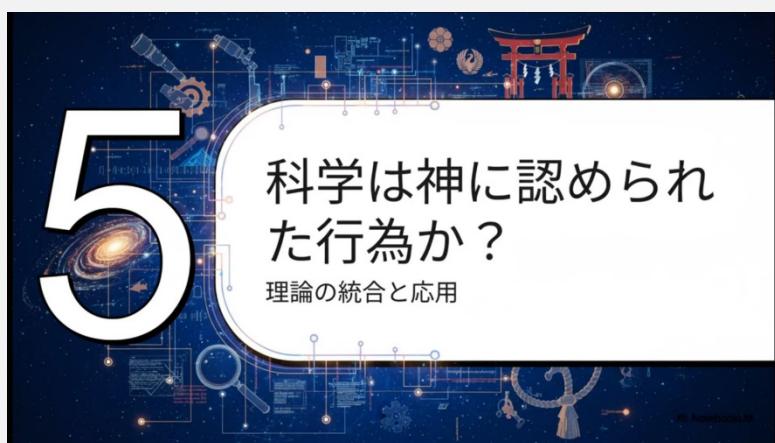
### A New Interpretation: 創発的二元論 (Emergent Dualism)

- ・対立は「心 vs. 体」ではない。対立は、物質（脳）から創発する異なるレベルの意識の間にある。
- ・「肉の心」（一次意識）: 個体の生存を維持する基本的な意識。言語を必要としない「記憶された現在」。
- ・「肉の心から生まれた心」（高次意識）: 社会的適応を可能にする高次元の心。自己意識、過去・未来の概念を持つ。

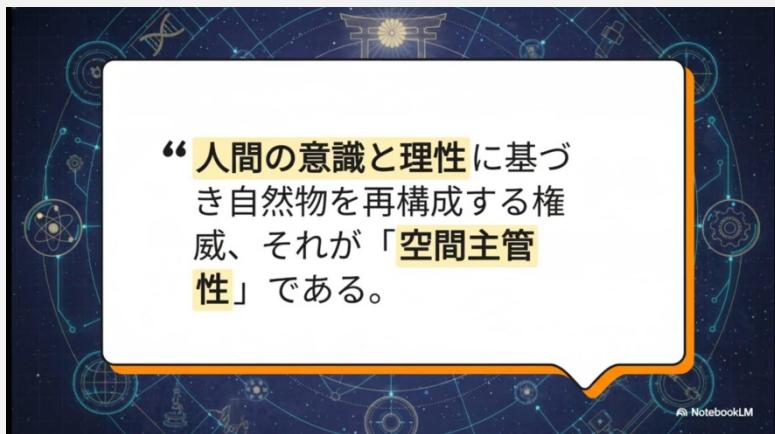


これは非物質的な魂と物質的な身体の対立ではなく、科学的に探求可能な創発的階層性に基づいた、新しい二元論である。

はい、これこそが創発的二元論。この理論が提唱する全く新しい科学の見方なんです。もう昔ながらの心と体は別物だ、みたいな神秘的な話じゃないんですね。身体、つまり脳っていう物質のものすごい複雑さから創発して生まれたレベルの違う心。こう考えることで、昔からの心と体の問題っていうのは科学的に調べられる、階層の問題として考え直すことができるようになるんです。



さあいよいよラストです。ここまで見てきた神学、歴史、そしてシステム理論。このバラバラに見えたピースがここで1つにつながります。そしてこれが私たちの身の周りにある科学技術にとって一体どういう意味を持つのか、その核心に迫っていきましょう。



ここでの重要なキーワードがもう1度出でます。人間の意識と理性の判断に基づいて、自然にあるものを作り替える権威。それこそが空間的主觀性である。要するに、科学っていう行為は、神様に認められた正当な行いなんだよっていう神学的なお墨つき。それがこの空間的主觀性なんですね。

## 事例：AIによる歯の設計



じゃあ、こんな難しい理論が実際にどう役に立つのか、その見事な例が、この歯の被せ物クラウンを作るプロセスです。まずステップ 1。AI が本物の歯をスキャンします。でも自然がどういう意図で、この形にしたかなんて、AI には分かりませんよね。そこでステップ 2。人間の理性が、あつ、この歯は、噛むため、話すためにあるんだなって、その機能を解釈します。そして、ステップ 3。ここで空間的主導性が登場する。この神学的な権威がオッケ、自然の形を参考に、もっと良いものを作っていくよと、正当化してくれるわけです。そして最後のステップ 4。AI は自然の原理と協力するパートナーとして、より機能的な人口の歯をデザインする。まさに共同創造ですね。

## 科学と宗教の大統一

- 科学と宗教は対立しない
- 両者は「同じことを語る異なる言語」である
- 科学は神の創造物の「構造」を解き明かす
- 宗教はその探求の「正当性」と「意味」を与える

NotebookLM

つまりこの話のゴールは何かと言うと、長年続いてきた、科学と宗教の対立を終わらせることがあります。この理論によれば、両者は敵同士じゃない。同じ 1 つのことを違う言葉で説明しているだけなんだと。科学は神様が作った世界の構造、つまりどうなっているかを解き明かす。そして宗教は、その科学的な探求に、それをやっていいんだよっていう、正当性と何のためにやるのかっていう意味を与える。つまりお互いを補強し合う、最高のパートナーだっていうわけです。



## 神聖なるオートポイエーシス：自己創造の力

マリアの物語は、外部の介入なしに、自身の内的論理を通じて、内から新しい存在を創造する原型です。これが『神聖なるオートポイエーシス』です。自己救済とは、自身の内にあるこの深遠な創造的な力を発見する行為です。

さてどうでしょうか。この神学とシステムの融合っていうのは、本当に未来の新しい知識体系を作り出せるのか。それとも、もしかしたら決して混ぜてはいけない、境界線を曖昧にしてしまう危険な試みなのか。この、とてもなく壮大な問い今私たちの目の前に投げかけられているんです。

NotebookLM



notebooklm.google.com

研究提案書:参考資料			
コンティンジェンシー (Contingency)	ダブル・コンティンジェンシー (Double contingency)	14. 体(物質)	魂(生命)
1. 存在論	認識論	15. 体験	知識
2. 繼続	変化	16. 物	言葉
3. 設計	最適化	17. 儲値	意味
4. 相対性	対称性	18. 現象	原因
5. デジタル	アナログ	19. 考える	感じる
6. 環境	システム	20. 最後まで	できるところまで
7. 因果	循環	21. 相対性理論	量子力学
8. 有限(時間)	無限(空間)	22. 粒子(量子力学)	波(量子力学)
9. 階層	ネットワーク	23. 質量	エネルギー
10. 多様性	唯一性	24. マクロ	ミクロ
11. 死	復活	25. 自然科学	社会科学
12. 統一(調和)	一致	26. 運	技術(確率)
13. 俗	聖	27. (記憶力)自己認識	想像力
14. 体(物質)	魂(生命)	28. 進化	創造
15. 体験	知識	29. 形状	機能
16. 物	言葉	30. (過去から現在まで)これまで	(現在から未来へ)これから

