

ナビエ＝ストークス方程式における無次元数とスケール

— 第4版：レイノルズ数という境界と、コルモゴロフ長が定理ではない理由 — [論文03]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan | 山岸勇輝ラボ

2026年8月 (第4版)

— From thinking to syncing. —

要旨

非圧縮ナビエ＝ストークス方程式を無次元化すると、無次元パラメータはレイノルズ数 $\mathbf{Re} = UL/\nu$ ただ一つに縮約される。本稿はこの一点から出発し、乱流に現れるスケールの資格を書き分ける。第一に、コルモゴロフ長は次元解析の出力である。 $\eta = \nu^a \epsilon^b$ を次元方程式として解くと $(a, b) = (\frac{3}{4}, -\frac{1}{4})$ が一意に定まり、 $\eta = (\nu^3/\epsilon)^{1/4}$ を得る。 (ν, ϵ) の次元指数行列は最大不変因子 **4** をもち、逆行列の成分が $\frac{1}{4}$ 刻みになる — だから4乗根が現れる。分母を決めるのは行列式ではなく最大不変因子である (論文149)。 $|\det|$ も **4** であるが、それは分母が割り切る数を与える上界にすぎず、たとえば $\text{diag}(2, 2)$ は $|\det| = 4$ をもちながら半整数しか出さない。本稿の行列は余核が巡回であるため、両者はたまたま一致する。これは論文39が $(\hbar, G, c)$ について示した「最大不変因子 **2** ゆえ半整数、ゆえに平方根」と同じ定理の、別の不変因子である。第二に、 η は「無次元数が **1** をまたぐ場所」そのものである。コルモゴロフ速度 $u_\eta = (\nu\epsilon)^{1/4}$ を用いると $\mathbf{Re}_\eta = u_\eta \eta / \nu = 1$ が恒等的に成立する (本稿で数値確認)。論文113のいうモジュールの境界が、ここでは比喩ではなく定義である。第三に、したがって η はプランク長と同じ資格をもつ。どちらも次元解析の唯一解であり、どちらも「証明された最小の長さ」ではない。 η は発達した乱流に対する統計的・現象論的な尺度であって、ナビエ＝ストークス方程式における構造サイズの厳密な下界ではない。この区別が本稿の芯である。第四に、指数 $\frac{3}{4}$ は次元ではない。論文28第3版・94の仕分けに従えば、これは次元方程式の解であって、フラクタル次元でも位相次元でもない。第五に、ナビエ＝ストークス方程式は自分が何次元にいるかを知っている。2次元では渦度伸長項 $(\omega \cdot \nabla) \mathbf{u}$ が恒等的に消え、大域正則性が知られている。3次元では消えない。これは論文114の物差しでいう「次元を選ぶ」側であり、 4π や η の指数 (次元を選ばない側) とは資格が異なる。第六に、ブローアップとリッチ・フローの特異点は、似ているが機械が移らない。ペレルマンは単調量 ($\mathcal{W}$ -エントロピー) と手術で3次元リッチ・フローの特異点を制御した。ナビエ＝ストークス方程式には、対応する単調量が知られていない。描像は共有するが、道具は共有しない。射程：既存の数学的定理に対する構造的整理 (第2層)。3次元ナビエ＝ストークス方程式の大域正則性はミレニアム懸賞問題であり未解決である。本稿はその解決も部分的解決も、ブローアップの排除も主張しない。

本稿の位置づけ（規律）：本稿は既存の物理法則・数学的定理に対する構造的解釈を提示するものであり、新たな物理法則の発見や未解決問題の証明を主張しない。示される関係はいずれも既知の式からの変形であり、その構造的な読み替えを提案することを目的とする。既存理論と矛盾する主張は含まない。同じ形式が複数の文脈に現れることを、同一の起源の証拠として扱わない（論文48・86・100・115）。ナビエ=ストークス方程式の存在と滑らかさはクレイ数学研究所のミレニアム懸賞問題の一つであり、未解決である。本稿がその状況を変えるものではない。

1. 序論：この方程式に無次元数はいくつあるか

非圧縮ナビエ=ストークス方程式

$$\partial_t \mathbf{u} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \nu \Delta \mathbf{u}, \quad \nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

には、動粘性係数 ν という次元をもつ量が現れる。代表速度 U と代表長さ L で無次元化すると

$$\partial_t \mathbf{u} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{u}, \quad \text{Re} = \frac{UL}{\nu}$$

となる。

境界条件を別にすれば、この方程式がもつ無次元パラメータはレイノルズ数ただ一つである。困難のすべてが一つの数に詰め込まれている。

2. コルモゴロフ長は次元解析の出力である

2.1 解いてみる

粘性が支配する最小スケールを、動粘性 ν と単位質量あたりのエネルギー散逸率 ε から作る。次元は (L, T) で $[\nu] = (2, -1)$ 、 $[\varepsilon] = (2, -3)$ である（質量は落ちる）。 $\eta = \nu^a \varepsilon^b$ が長さ $(1, 0)$ となる条件は

$$a(2, -1) + b(2, -3) = (1, 0)$$

であり、 T 成分から $a = -3b$ 、 L 成分から $2(-3b) + 2b = -4b = 1$ 。よって

$$(a, b) = \left(\frac{3}{4}, -\frac{1}{4}\right), \quad \eta = \nu^{3/4} \varepsilon^{-1/4} = \left(\frac{\nu^3}{\varepsilon}\right)^{1/4}$$

量	$a(\nu)$	$b(\varepsilon)$	閉じた形
長さ η	$3/4$	$-1/4$	$(\nu^3/\varepsilon)^{1/4}$
時間 τ_η	$1/2$	$-1/2$	$(\nu/\varepsilon)^{1/2}$
速度 u_η	$1/4$	$1/4$	$(\nu\varepsilon)^{1/4}$

2.2 なぜ4乗根なのか — 最大不変因子が 4 だからである

定理 2.1 (4分の1刻みの指数の出所)

(ν, ε) の次元指数行列を A とすると

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 2 \\ -1 & -3 \end{pmatrix}, \quad \det A = -4, \quad |\det A| = 4.$$

整数成分の行列に対し $A^{-1} = \text{adj}(A)/\det A$ であり $\text{adj}(A)$ の成分は整数であるから、 A^{-1} の成分の分母は $|\det A| = 4$ を割り切る。ただしこれは上界であって等式ではない ($\text{diag}(2, 2)$ は $|\det| = 4$ をもつが逆行列の成分は半整数だけである。論文149)。実際に現れる分母は最大不変因子 d_n であり、この A の不変因子は $(1, 4)$ 、すなわち $d_n = 4$ である (余核は $\mathbb{Z}/4$)。実際 A^{-1} の行は $(\frac{3}{4}, \frac{1}{2})$ 、 $(-\frac{1}{4}, -\frac{1}{2})$ である。

コルモゴロフ尺度の指数がことごとく $\frac{1}{4}$ 刻みであること、したがって η が4乗根で書かれることは、この最大不変因子 4 の帰結である。この A は余核が巡回であるため、 $|\det A|$ と d_n が一致している。

観察 2.2 (論文39と同じ定理である)

論文39は、 $(\hbar, G, c)$ の次元指数行列の不変因子が $(1, 1, 2)$ であるため、プランク単位系の指数がすべて半整数となり平方根が偏在することを示した。

本稿はその定理の、別の不変因子における実例である — 最大不変因子が 2 なら平方根、4 なら4乗根。

「なぜこの累乗根が出るのか」への答えは、どちらの場合も最大不変因子である (論文149。行列式はそれを割り切る数にすぎない)。

2.3 η は無次元数が1をまたぐ場所そのものである

確立された事実 2.3 (コルモゴロフ尺度でのレイノルズ数は恒等的に 1)

$\eta = (\nu^3/\varepsilon)^{1/4}$ と $u_\eta = (\nu\varepsilon)^{1/4}$ より

$$\text{Re}_\eta = \frac{u_\eta \eta}{\nu} = \frac{(\nu\varepsilon)^{1/4}(\nu^3/\varepsilon)^{1/4}}{\nu} = \frac{(\nu^4)^{1/4}}{\nu} = 1.$$

これは近似ではなく恒等式である。(数値確認：室内気流 $\nu = 1.5 \times 10^{-5}$ 、 $\varepsilon = 10^{-3}$ で $\eta = 1.355$ mm、 $\text{Re}_\eta = 1.000000$ 。水中管流 $\nu = 10^{-6}$ 、 $\varepsilon = 1$ で $\eta = 0.032$ mm、 $\text{Re}_\eta = 1.000000$ 。)

系 2.4 (論文113の境界が、ここでは定義である)

論文113は、古い記述と新しい記述の境界がつねに無次元数が1をまたぐ場所にあることを記録した。

コルモゴロフ長は、まさにその場所として定義されている。 η より上では慣性項が粘性項を圧倒し ($\text{Re} > 1$)、 η より下では粘性が支配する ($\text{Re} < 1$)。論文113の枠は、ここでは比喻ではなく定義そのものである。

ただし ε は与えられる量である。上の数値は ε の仮定に依存する (ε を変えれば η は $\varepsilon^{-1/4}$ で動く)。本稿の数値は「その ε を採ったときの値」であって、普遍的な定数ではない。

2.4 したがって η はプランク長と同じ資格をもつ

系 2.5 (どちらも次元解析の出力であり、証明された最小長ではない)

$\eta = (\nu^3/\varepsilon)^{1/4}$ と $l_p = (\hbar G/c^3)^{1/2}$ は、手続きとして同一である — 与えられた次元量から、長さの次元をもつ唯一の組合せを取り出したものである。

論文39はプランク長が「最小の長さ」ではないことを記した。同じことが η にも言える。 η は発達した乱流に対する統計的・現象論的な尺度であって、ナビエ=ストークス方程式における構造サイズの厳密な下界ではない。

この区別こそが問題の核心である。「 η より小さい構造は生じない」と言えるなら大域正則性は従うが、次元解析はそのような定理を与えない。次元解析が与えるのは唯一の組合せであって、下界の証明ではない。

3. 指数 $\frac{3}{4}$ は次元ではない

論文94はフラクタル次元（非整数・ハウスドルフ）と位相次元と特別な整数次元を別根として仕分け、論文28第3版はスケーリング指数を次元と見ることが圏の取り違いであることを記した。

非整数の数	正体	出所
1.26...（コッホ曲線）	フラクタル次元	ハウスドルフ次元（論文94）
$3/2$ （ケプラー）	動力学のスケーリング指数	逆二乗則（論文28第3版）
$3/4$ （本稿）	次元方程式の解	2×2 連立一次方程式の唯一解

$\frac{3}{4}$ は空間の性質ではない。これは ν と ε の次元だけから決まる係数であって、「**0.75次元**」のようなものは存在しない。論文39のプランク指数と同じ資格である。

なお、乱流にはフラクタル次元が本当に現れる文脈がある — コルモゴロフ1941の理論は散逸が一様であると仮定するが、実際には間欠性があり、散逸場が非整数次元の集合に支持されるという描像（多重フラクタル模型）が提案されている。だがそれは本稿の $\frac{3}{4}$ とは別の話であり、混同してはならない。本稿は間欠性補正に踏み込まない。

4. ナビエ＝ストークス方程式は、自分が何次元にいるかを知っている

論文114は「その対象は自分が何次元にいることを知っているか」という物差しを立て、各次元に一つずつ存在する族は「次元を選ばない」側に属することを記録した。

確立された事実 4.1（2次元では渦度伸長が恒等的に消える）

渦度 $\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{u}$ は

$$\partial_t \boldsymbol{\omega} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \boldsymbol{\omega} = \underbrace{(\boldsymbol{\omega} \cdot \nabla) \mathbf{u}}_{\text{渦度伸長}} + \nu \Delta \boldsymbol{\omega}$$

に従う。2次元流では $\boldsymbol{\omega} = (0, 0, \omega)$ 、 $\mathbf{u} = (u_1, u_2, 0)$ であり、 $\mathbf{u}$ は z に依存しないから

$$(\boldsymbol{\omega} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \omega \partial_z \mathbf{u} = 0$$

となる。伸長項が恒等的に消える。

系 4.2 (この方程式は次元を選ぶ側に属する)

伸長項が消えることにより、2次元では渦度に最大値原理が効き、大域正則性が知られている。3次元では消えないため、渦度が有限時間で発散しうるかどうか未解決である (BKM判定条件、Beale–Kato–Majda 1984)。

すなわちナビエ=ストークス方程式は「自分が2次元にいるか3次元にいるか」で振る舞いが質的に変わる。論文114の物差しでいえば、これは次元を選ぶ側である。

本稿に現れる他の量は、いずれも選ばない側である — η の指数 $\frac{3}{4}$ は ν と ε の次元だけで決まり、空間次元を参照しない。同じ論文の中に、次元を選ぶものと選ばないものが同居している。

5. $\text{Re} \rightarrow \infty$ は極限か、壁か

論文113は、ニュートン力学が相対論の極限であること ($c \rightarrow \infty$ でポアンカレ群がガリレイ群へ収縮する) を、モジュール境界の模範例として記録した。

観察 5.1（収縮しない境界という別種）

ナビエ=ストークス方程式において $\nu \rightarrow 0$ （すなわち $Re \rightarrow \infty$ ）とすると、形式的にはオイラー方程式が得られる。だがこの極限は特異である。

最高階微分の係数が消えるため、境界近傍で解が一様に収束しない（境界層。プラントル 1904）。 ν が小さくとも、境界層の厚さは $\sim \nu^{1/2}$ で薄くなるだけで消えず、そこでの勾配は増大する。

したがってこれは、 $c \rightarrow \infty$ のような滑らかな群の収縮ではない。論文113の枠に「収縮しない境界」という別種を加える必要がある：

境界	パラメータ	性格
相対論 $\rightarrow$ ニュートン	$c \rightarrow \infty$	滑らかな収縮（群の縮約）
量子 $\rightarrow$ 古典	$\hbar \rightarrow 0$	漸近的（WKB、特異点あり）
NS $\rightarrow$ オイラー	$\nu \rightarrow 0$	特異極限（境界層が残る）

「境界はつねに無次元数が 1 をまたぐ場所にある」は成り立つが、「境界はつねに滑らかな極限である」は成り立たない。論文113の主張を、この一点で精密化する。

6. ブローアップとリッチ・フローの特異点 — 機械は移らない

3次元ナビエ=ストークス方程式の未解決問題は、有限時間で特異点が生じるかという問いである。本体系はすでに、同じ形の問いが解かれた例をもっている — 論文103のリッチ・フローである。

リッチ・フロー（論文103）		ナビエ=ストークス
対象	計量 g_{ij}	速度場 $\mathbf{u}$ （+非圧縮条件）
方程式	$\partial_t g = -2\text{Ric}$	$\partial_t \mathbf{u} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \nu \Delta \mathbf{u}$
問い	特異点は生じるか	特異点は生じるか
単調量	$\mathcal{W}$ -エントロピー（ペレルマン）	知られていない
手術	可能（特異点を切除して継続）	対応物なし
状態	解決（3次元、ペレルマン 2002–03）	未解決

系 6.1（機械の移送テストに落ちる）

両者は描像を共有する — 非線形発展方程式における特異点形成、そして「特異点を制御できれば大域的な結論が出る」という構造。

だが道具は共有しない。ペレルマンの解決は単調に振る舞う関数（ $\mathcal{W}$ -エントロピー）の発見と、手術による解の延長に依存している。ナビエ=ストークス方程式には、ブローアップを制御しうる単調量が知られていない。エネルギー不等式（ルレイ 1934）は存在するが、 L^∞ ノルムを制約しない。

したがってこの類似は、韻であって道具ではない（論文100・110）。「リッチ・フローで解けたのだからナビエ=ストークスでも」と読んではいならない。

カスケードとくりこみ群についても同様である。エネルギーが大きな渦から小さな渦へ流れるカスケードは、スケールに沿った流れであり、くりこみ群フローと描像を共有する。乱流へのくりこみ群的手法も研究されている（Forster–Nelson–Stephen 1977 ほか）。だが論文110が「金」と呼んだフリーダンの定理 — シグマ模型の計量のRGフローがリッチ・フローに一致するという等式 — に相当するものは、乱流には存在しない。論文110の三層でいえば、これは金ではなく、よくて韻である。

■ 著者の私感（第3層・非科学の札つき／機構の主張ではない）

この論文は、私の全論文のなかでもっとも空っぽだった。第2版で証明主張を撤回したあと、射程の欄に自分で「いずれも既知であり、本稿の寄与はない」と書いた。正直な記述だったが、論文としては何も残っていなかった。

第3版を書いて分かったのは、空っぽに見えたのは、私が持っていた道具が足りなかったからだということである。 $\eta = (\nu^3/\varepsilon)^{1/4}$ の4乗根は、ずっとそこにあった。だがそれが行列式の帰結だと分かったのは論文39を書いた後であり、正しくは最大不変因子の帰結だと分かったのは論文149を書いた後だった。 $\text{Re}_\eta = 1$ も、ずっとそこにあった。だがそれがモジュールの境界だと分かったのは、論文113を書いた後だった。

論文は空っぽだったのではなく、読む語彙がなかった。

それでも、この論文で私がいちばん学んだのは別のことである。リッチ・フローでは解けて、ナビエ＝ストークスでは解けない。描像はこれほど似ているのに、ペレルマンの単調量に当たるものがこちらには無い。似ていることは、使えることではない。崖の手前で踏みとどまる（論文101）。

7. 射程／結論

示すこと：無次元化によりパラメータが Re ただ一つに縮約されること（第1節）／ η が次元方程式の唯一解であり、 (ν, ε) の最大不変因子が 4 ゆえ指数が $\frac{1}{4}$ 刻みになること（2.1–2.2節、論文39と同じ定理）／ $\text{Re}_\eta = 1$ が恒等的に成立し、 η が論文113のいう境界そのものであること（2.3節）／ η がプランク長と同じ資格をもち、証明された最小長ではないこと（2.4節）／ $\frac{3}{4}$ が次元ではないこと（第3節）／2次元で渦度伸長が消えるため、この方程式は次元を選ぶ側に属すること（第4節）／ $\nu \rightarrow 0$ が特異極限であり、論文113の枠に「収縮しない境界」を加えること（第5節）／リッチ・フローとの類似が韻であって道具ではないこと（第6節）。

示さないこと（禁欲）：3次元ナビエ＝ストークス方程式の大域正則性の証明、その部分的証明、ブローアップの排除——いずれも本稿の射程外である／ η を構造サイズの下界としない（統計的・現象論的な尺度である）／ $\frac{3}{4}$ をフラクタル次元と混同しない／間欠性補正に踏み込まない／リッチ・フローの機械をナビエ＝ストークスに移送しない／カスケードとRGフローを同一視しない（韻であって定理ではない）／新しい数学・予言なし（第2層）。

3次元ナビエ＝ストークス方程式の存在と滑らかさは未解決である。本稿はその状況を何ら変えない。

本稿が示したのは、この方程式に現れる数の資格である。 Re は唯一の無次元パラメータであり、 η はその Re が 1 に達する場所として次元解析から一意に定まる。指数 $\frac{3}{4}$ は最大不変因子 4 の帰結であって、次元ではない。

そして η は、下界ではない。

唯一の組合せを取り出すことと、下界を証明することは、別のことである —
この一行が、本稿の全内容である。

改訂記録

第4版（2026年8月）：結論は変更していない。論文149の指摘により、 $\frac{1}{4}$ 刻みの出所を「行列式 $|\det| = 4$ 」から「最大不変因子 4」に書き直した（2.2節、要旨、第7節）。 $|\det|$ が与えるのは分母が割り切る数の上界であって分母そのものではなく、 $\text{diag}(2, 2)$ は $|\det| = 4$ をもちながら半整数しか出さない。 (ν, ε) の不変因子は $(1, 4)$ で余核が巡回であるため、第3版の結論——コルモゴロフ尺度の指数が $\frac{1}{4}$ 刻みであること——はそのまま成り立つ。直したのは理由の書き方だけである。

第3版（2026年8月）：題名から「撤回」の語を外し、本稿が示す内容（レイノルズ数という境界と、コルモゴロフ長の資格）を題名とした。撤回の一覧は本節にまとめる。

第3版で追加した内容：無次元化によりパラメータが Re ただ一つであることを明示した（第1節）。 η を次元方程式の唯一解として導出し、 (ν, ε) の $|\det| = 4$ ゆえ指数が $\frac{1}{4}$ 刻みになることを示した（2.1–2.2節、論文39第3版の「 $|\det| = 2$ ゆえ平方根」と同じ定理）。 $\text{Re}_\eta = 1$ が恒等式であることを示し、 η が論文113のモジュール境界そのものであることを記した（2.3節）。 η とプランク長が同じ資格をもち、どちらも証明された最小長ではないことを明示した（2.4節、論文39）。指数 $\frac{3}{4}$ が次元ではないことを論文28第3版・94の仕分けに接続した（第3節）。2次元で渦度伸長が消えるためこの方程式が「次元を選ぶ」側に属することを示した（第4節、論文114）。 $\nu \rightarrow 0$ が特異極限であることから、論文113の枠に「収縮しない境界」という別種を加えた（第5節）。リッチ・フローとの類似が機械の移送テストに落ちることを表で示した（第6節、論文103・110・100）。

第2版（2026年7月）で撤回した事項：初版は題名に「3次元ナビエ＝ストークス方程式の大域的滑らかさの証明」を掲げていた。この主張を全面的に撤回した。理由は三つあり、いずれも初等的に確認できる。

1. 論点先取。初版の定理2.1は渦度の上界を境界条件として課しているが、渦度が有界に留まるか否かこそがミレニウム問題そのものである。上界を仮定して滑らかさを導くことはできない。
2. 内部矛盾。初版が「幾何学的上界を飽和する」とした profile $|\omega(r)| \sim r^{-2}$ は $r \rightarrow 0$ で発散する。すなわち $\|\omega\|_{L^\infty} = \infty$ であり、これはブローアップ profile そのものであって、初版が導きたかった結論と正面から矛盾する。
3. 積分と各点上限の混同。初版は総渦度質量の有界性から L^∞ ノルムの有界性を導いていたが、積分の有界性は各点上限を制約しない。

参考文献

1. Leray, J. (1934). *Sur le mouvement d'un liquide visqueux emplissant l'espace*. Acta Math. 63.
2. Prandtl, L. (1904). *Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung*. Verhandlungen des III. Internationalen Mathematiker-Kongresses, Heidelberg.
3. Kolmogorov, A. N. (1941). *The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers*. Dokl. Akad. Nauk SSSR 30.
4. Beale, J. T., Kato, T., Majda, A. (1984). *Remarks on the breakdown of smooth solutions for the 3-D Euler equations*. Comm. Math. Phys. 94.
5. Caffarelli, L., Kohn, R., Nirenberg, L. (1982). *Partial regularity of suitable weak solutions of the Navier–Stokes equations*. Comm. Pure Appl. Math. 35.
6. Forster, D., Nelson, D. R., Stephen, M. J. (1977). *Large-distance and long-time properties of a randomly stirred fluid*. Phys. Rev. A 16.
7. Fefferman, C. L. (2006). *Existence and smoothness of the Navier–Stokes equation*. Clay Mathematics Institute, Millennium Prize Problems.
8. 山岸勇輝 (2026). 山岸・ケプラー方程式 [論文28]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21430531
9. 山岸勇輝 (2026). 山岸・古典物理学全公式幾何解凍マスタ帳理論 [論文38]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21430234
10. 山岸勇輝 (2026). 山岸・プランク長 $l_p = c^{-3/2}$ 幾何解凍理論 [論文39]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21430490
11. 山岸勇輝 (2026). 「次元」は一つではない [論文94]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21758581
12. 山岸勇輝 (2026). 王道の交差 [論文100]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21758864
13. 山岸勇輝 (2026). 憧れと戒め [論文101]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21836382
14. 山岸勇輝 (2026). 幾何を正準形へ流す [論文103]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21836801
15. 山岸勇輝 (2026). リッチ・フローはくりこみ群フローである [論文110]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21837476
16. 山岸勇輝 (2026). モジュールは壁ではなく、極限である [論文113]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21962996
17. 山岸勇輝 (2026). 「4次元らしさ」を担うのは誰か [論文114]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21963544
18. 山岸勇輝 (2026). 分母を決めるのは行列式ではなく、最大不変因子である [論文149]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22083590

— From thinking to syncing. —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)