

Güss, C. D., Ahmed, S., & Dörner, D. (2021).

## From da Vinci's Flying Machines to a Theory of the Creative Process.

*Perspectives on Psychological Science.*

<https://doi.org/10.1177/1745691620966790>

### ✚ 本論文の目的

人は多かれ少なかれ創造的なものを生成する力があり、創造的思考力のある側面を日常的に用いているという前提のもと、

1. 創造的プロセスをレオナルドダヴィンチの飛行マシンに関する記述に基づいて説明すること
2. 一般的な心理学プロセスで、彼の並外れた創造的成果に至ったプロセスを説明すること

### The Creative Process—Very Briefly

✚ Wallas (1926) は創造性プロセスを 4 段階からなるモデルで提案した

1. Preparation      conscious & controlled

情報を収集しドメインについて学ぶ

2. Incubation      unconscious

他の何らかのものに注意を向けている際に無意識的に問題解決が行われる

<<< Intimation      自覚はないが解決に少しずつ向かっているような曖昧な感覚 >>>

3. Illumination      unconscious

突然、解をひらめく

4. Verification      conscious & controlled

アイデアを検証し評価する

✚ Lubart (2001) は、Wallas のモデルはより詳細なサブプロセスによって検証する必要があると指摘

➤ 本論文は、創造性プロセスを詳細に検討する

☆ ダヴィンチの 2 つの発明を参照し、そこで起こっていた創造性プロセスを再構築し、発明に至った経緯を説明する

### Two Examples of da Vinci's Flying Machines

✚ レオナルドダヴィンチは、飛行マシンを 2 つ発明している

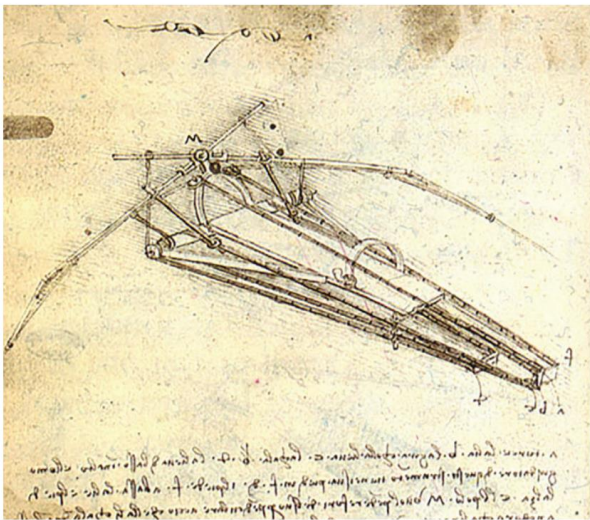
- ① 1485 年頃発明 オーニソプター (Fig. 1)

- 鳥やコウモリを真似て作られ、機体内に人が乗り翼を両腕で羽ばたかせて飛ぶもの
- 後の飛行機

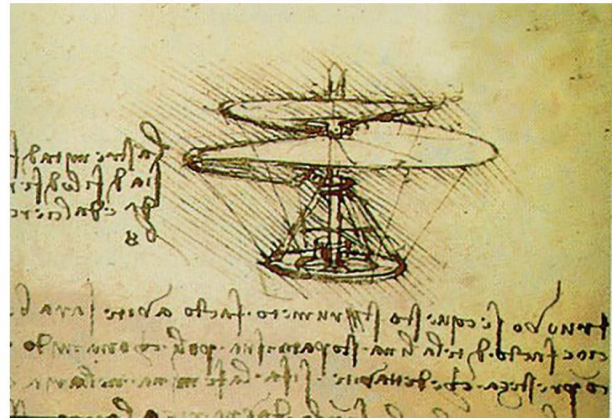
- ② 1489 年頃発明 (1483 ~ 1486 にかけてデザイン) エアリアルスクリュウ (Fig. 2)

- プロペラが回転することで宙に浮くもの
- 後のヘリコプター

2 つとも、人力で動かすタイプであり、実際に飛ぶほどのパワーがなく実現していないが、400 年後の飛行機やヘリコプターの発明の土台を築いた。



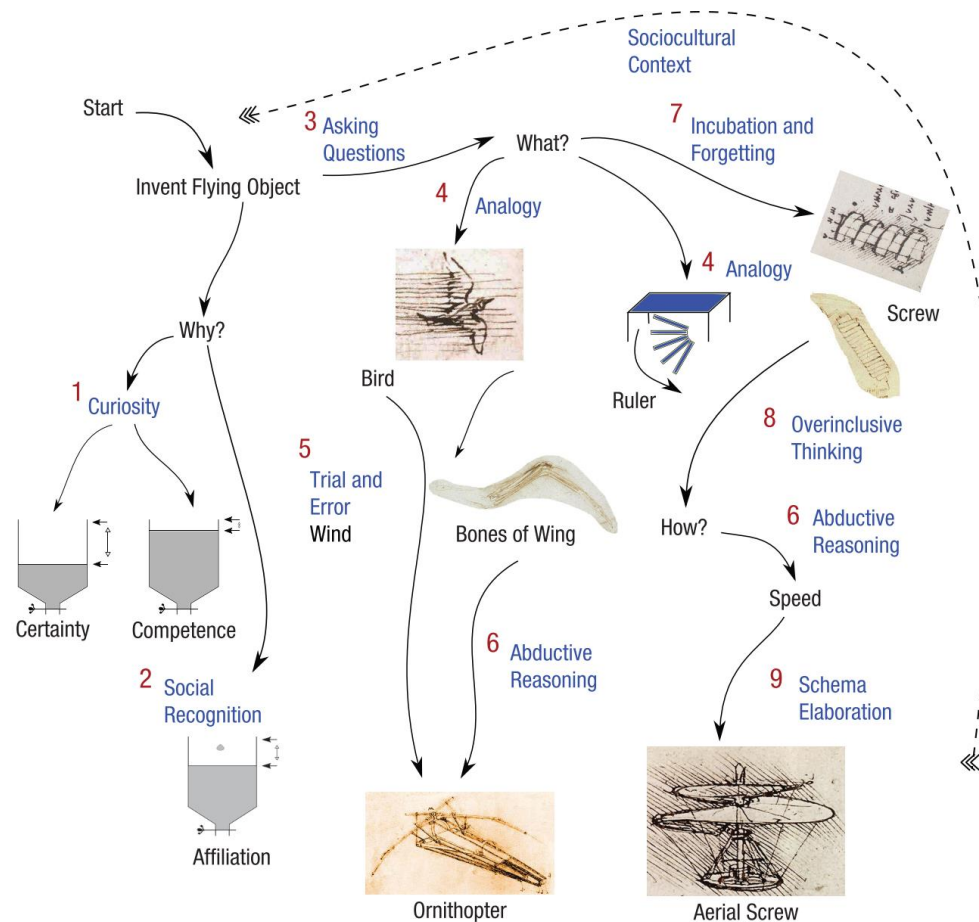
**Fig. 1.** Flying machine "ornithopter" (da Vinci, Manuscript B, folio 74 v.). Image from [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Design\\_for\\_a\\_Flying\\_Machine.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Design_for_a_Flying_Machine.jpg).



**Fig. 2.** Screw air (da Vinci, Manuscript B, folio 83 v.). "Let the outer extremity of the screw be of steel wire as thick as a cord, and from the circumference to the centre let it be eight braccia [48 ft]. I find that if this instrument made with a screw be well made—that is to say, made of linen of which the pores are stopped up with starch—and be turned swiftly, the said screw will make its spiral in the air and it will rise high" (da Vinci, Manuscript B 83 v.; da Vinci, 1939 p. 500). Image from [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Szkic\\_%C5%9Bmig%C5%82owca.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Szkic_%C5%9Bmig%C5%82owca.jpg).

本論文では、ダヴィンチの創造プロセスは、9 ステップから成っていると解釈した (Fig. 3)

➤ 以降は 1 ステップ目から順に説明していく



**Fig. 3.** The step-by-step creative process of inventing two flying machines. It includes images, questions, motivation, and cognitive operations in blue. The numbers in the figure correspond to the order of the sections in which they are discussed in the article. Bird image from [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Leonardo\\_da\\_Vinci\\_-\\_Codice\\_volo\\_uccelli\\_6r.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Leonardo_da_Vinci_-_Codice_volo_uccelli_6r.jpg) (da Vinci, about 1506, *Codice volo uccelli* 6 r.). Archimedes screw image from <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1d/Facsimile-of-codex-atlanticus-screws-and-water-wheels-laminate.jpg> (da Vinci, *Codex Atlanticus*, folio 386 r.).

## The Dream of Flying: Curiosity as a Motivation to Discover

🌈 創造的発明をする上でのモチベーション：好奇心があったと考えられる

- ダヴィンチは、「単に理解するために理解すること」に関心があり、「歴史上で最も容赦ない好奇心のある男」と形容されるほどだった

Psi 理論：モチベーション、感情や認知のプロセスを説明しようとする心理学的理論

- 人間は基本的欲求 5 つを良好な状態に維持しようとする

## Curiosity

- Certainty（確実性）と Competence（有能性）の欲求が同時に活性化することとして説明できる

欲求の活性化は、タンクの例えで理解することができる（Fig. 4）

- 欲求が満たされると喜びを感じる一方で、満たされないと不快感を生じる

Set point：この線に到達すれば欲求は満たされる

タンクの下から流水する速さに個人差があり、欲求を満たして（Set point に到達するまで）バランスを保とうとする。欲求が満たされていくと徐々に水位が上昇する。

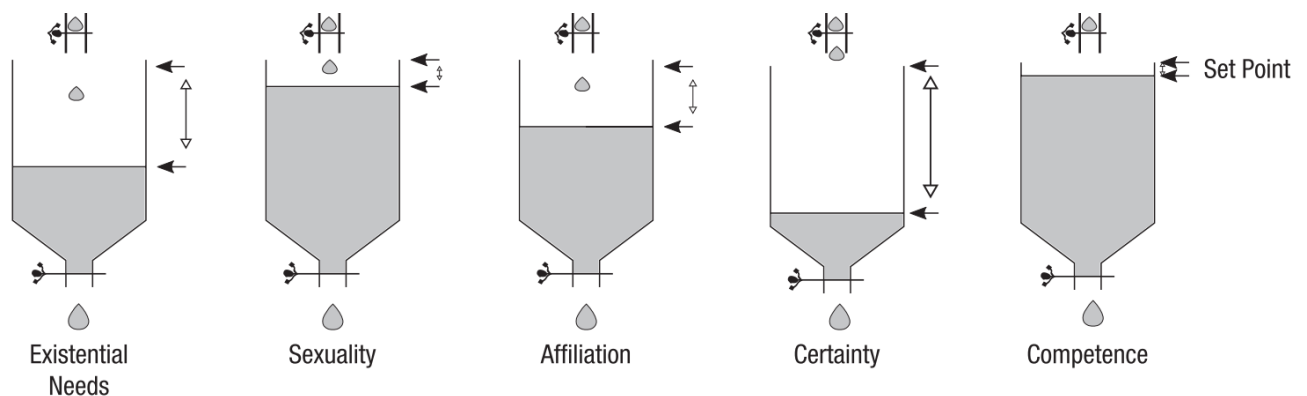


Fig. 4. Tanks showing the five needs.

ダヴィンチは、Certainty のタンクの流水速度がとても速かったと考えられる

- これを満たすために、情報の収集に長時間を費やす必要があった
- Certainty の欲求不満によって生じる強い不快感は、これに密接に関わる Competence の欲求で説明できる
  - ✧ Certainty の欲求が増加すると間接的に Competence の欲求が増加する
    - ➔ 両方の欲求が強いと、その場しのぎで Competence を満たそうとする
    - ➔ Certainty の欲求が強くても Competence の欲求が弱ければ、Certainty に関するフラストレーションが溜まり、それを満たそうとする
  - ✧ ダヴィンチは、前述の后者に相当すると想定される
    - ➔ 蓄えられた知識やスキル、これまでの功績からの自信があったため、Competence の欲求は低いと考えられる

### Social Recognition as Motivation

- ✚ ダヴィンチは、飛行マシンの完成によって名声と栄光を手にすることができると考えていた
  - Social recognition（社会的承認）に相当する
  - 基本的欲求の 1 つである所属感（社会的必要性）が満たされることも考えられる

創造的成果をもたらすには、内発的動機だけでなく、社会的文脈も重要であると示されている

- 内発的・外発的な社会的動機が一緒になって創造性を育むことがある

ダヴィンチは、当時既に頂点に立っていたため、社会的承認はそこまで大きな動機づけではないと考えられる。

### Asking Questions

- ✚ 好奇心からくる問いは、「知識の穴」を明らかにし、より深い思考に至らせる
    - Why の問い： 説明を要求する
    - What の問い： 特定の物事の詳細について問う
    - How の問い： 何かが起こる特定の方法の説明を求める
      - ✧ ダヴィンチは、こうした問いを自身に投げかけることで様々な思考のツールを用いていた
- 以降は、その思考ツールについて順に述べていく。

### Analogical Thinking

- ✚ What else can fly? の問いの答えに Analogy（類推）を用いていた
    - 鳥が飛べるなら、人も鳥の模倣をすれば飛べるはずだ
- オーニソプター (Fig. 1) は、鳥の翼や身体の構造と飛ぶプロセスを反映している
- エアリアルスクリュウ (Fig. 2) は、2 つの説明が考えられる
1. 自身の別のプロジェクトで開発したスクリュウから着想を得た  
(Incubation の節で詳細を述べる)
  2. 子供のおもちゃの駒から着想を得た

### Trial and Error

- ✚ ダヴィンチは、オーニソプターの翼を何度も改良していた
  - 最初の発想で機能するか試し、上手くいかなかった場合は手当たり次第に改善させた
    - ✧ 試行錯誤はノービスだけでなく、エキスパートでもよく用いられる戦略である
  - 数年の試行錯誤によって、鳥の羽ばたきと風の関係性の真理に近づいた

### Abductive Thinking

- ✚ 最も一般的な推論は、演繹的推論と機能的推論である
  - 演繹推論： 一般的理論や記述から特定の仮説を推測する推論
  - 帰納的推論： 特定の事例や観察から一般的な結論を導く推論



✧ これらは、ドメイン依存の域を出ず、新しい発見を結論付けられない

✚ 対して、Abductive 推論： 観察された現象を説明する仮説を検証し、道理にかなっていたら仮説を採用し、かなっていなかったら棄却する推論

➤ 現象の説明に新たな知見を提供することができる

✧ ダヴィンチは、この推論を用いて、翼の動きに関して仮説を実験的に検証して真理に近づいていた

➤ この推論のツールとなるのは、概念やイメージのスキーマと関連する経験などである。

### Incubation, Forgetting, and Creating Abstract Schema

✚ エアリアルスクリューの Analogy の説明

3. 種子が飛んでいる様を見て着想を得た

飛行マシンに取り組む以前に、種子が飛ぶ姿に言及する記述があった

➤ 以前に観察した事象がエアリアルスクリューの着想の発端の可能性もある

Incubation： 意識的な問題解決思考からいったん離れ、別の無関係の作業を行っている中

⇒ 問題の解につながる以前の経験が突如ポップアップする

➤ 解決に至れなかった考え方を忘れて、新しい考えに切り替えることができるため

✧ いったん忘れないと、あらかじめあった考え方に依存してしまうから（忘れることで創造性が高まる）

✚ ダヴィンチは、鳥を模倣して飛行マシンを作ろうとしていた

➤ 鳥が飛ぶスキーマの詳細がぼかされ、抽象的なスキーマが形成された可能性がある

✧ この発明に取り組んでいたとき、35,000 字以上も書き連ねて、500 枚以上のスケッチを描いていた

✧ これがデザインの改良をもたらし、飛行マシンの概念化につながった

➤ 1480~1482 にかけて水圧の研究をして、アルキメデススクリューを発明していた

✧ この 2 つから、エアリアルスクリューの着想に至った可能性がある

### Overinclusive Thinking, Latent Inhibition, and Illumination/Insight

✚ エアリアルスクリューは、アルキメデススクリューの動きを真似て、飛行マシンとして発明した可能性がある

➤ エアリアルスクリューを閃いたとき、スクリューのスキーマと抽象的な飛行マシンのスキーマの類似性がマッチしたと考えられる

✚ 他の説明として、定規の落ちている様からスクリューを類推した可能性がある

➤ 作図に定規を使っており、それが回旋しながら床に落ちたことを観察している

Overinclusive thinking： 一見関連のない材料は推論の妨げにならず、概念的境界は保たれない

Latent inhibition： 関連のない刺激を意識的な注意からブロックする能力

➤ 創造的成果が高い人は、比較的この能力が低い

☆ ダヴィンチは様々な領域の研究・発明を行うほど、いろんな方向に思考が向けられており、これに相当すると考えられる

☆ そのため、一見無関係なものの中の類似性を見出すことができた

✚ 専門性に依存してまう限界を打ち破るのに、Overinclusive thinking と Latent inhibition は重要

- 専門性が高いと、新しい方法で問題解決ができる知識の多さや経験の高さがある一方で、既に確立され成功が保障されている思考や行動を適用してしまいがちになる
- ダヴィンチは、自身の考案した理論を何度も改めることでこの落とし穴を乗り越えている
- ☆ 失敗から新しく改善していく意志があった

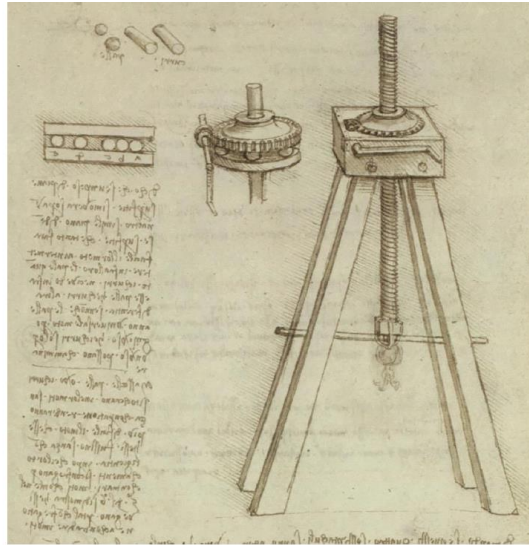


Fig. 5. Screw jack (da Vinci, *Codex Madrid 1*, 26 r.). Image from [https://vitruvio.imss.fi.it/foto/4645\\_1611\\_0572/4645\\_1611\\_0572-025rs.jpg](https://vitruvio.imss.fi.it/foto/4645_1611_0572/4645_1611_0572-025rs.jpg).

### Testing and Working Out Details: Schema Elaboration

- ✚ 発明を実現するにあたって、ダヴィンチは「エアリアルスクリュウがどうしたら飛べるようになるか」を Abductive 推論で考えていた
- ✚ オーニソプターの実現は、スキーマの精緻化によって考えていた
  - 包括的なスキーマは、飛ぶマシンであり、それを細分化して考えていた
    - ☆ 機体自体やその翼 (Sensory schema; 物体スキーマ)
    - ☆ パイロットが機体内で羽ばたかせるように翼を動かす動作 (Motor schema; 動作スキーマ)
  - スキーマの精緻化には 2 種類ある
    1. Specific ↔ Abstract
      - Specific: 翼の形、動きなど
      - Abstract: 飛ぶマシン
 スケッチの構成はこれを意識したものとなっており (Fig. 5), 思考実験の役割も果たしていたと推測できる
    2. Forward - Backward
      - Forward: Space に関連し, Sensory schema に相当する
      - Backward: Time に関連し, Motor schema に相当する

Forward と Backward が交互に繰り返されることで、機能のプロセスを考えていた

- スキーマの精緻化は、作図や実験、推論、知識などによって行われた

## Discussion

### 本論文の目的

1. 詳細なサブプロセスを含めた創造的プロセスの理論を発展させること
  - ① 創造性の背後にあるモチベーション…好奇心
    - Certainty と Competence の欲求に基づき説明した
      - ✧ Certainty が高く Competence が低いと新しいことの探求心が高いと説明した
    - ② 新しく実用的なアイデアや製品の実現に向けた意識的な側面
      - Abductive 推論に基づき説明した
        - ✧ 観察した現象の仮説を検証し、尤もらしい説を採用する
          - その際のツールは、概念やイメージなどのスキーマを精緻化することで得られる
      - ③ Incubation の間やひらめきに起こっているプロセス
        - 無意識的に問題解決に至るのは、上手くいかなかった方法や詳細なスキーマを忘却するため
          - ✧ 一見関連のない材料でも Incubation の間は妨げられず、概念的境界が保たれない
          - ✧ そうすると、類推 (Analogy) によって解決に至る
2. 一般的な心理学用語でダヴィンチの並外れた創造性を説明しようとする

### 限界点

- ◆ Wallas の創造性モデルをベースに議論している点
  - ✧ 他の創造性モデルで検討する必要がある
- ◆ 実際の思考プロセスは観察されておらず、記述やスケッチからの推測にとどまっている
  - ✧ 創造性を生成している際に同時にプロセスのデータを収集する必要がある