

「認知科学、ゲーム、人工知能」

三宅 陽一郎

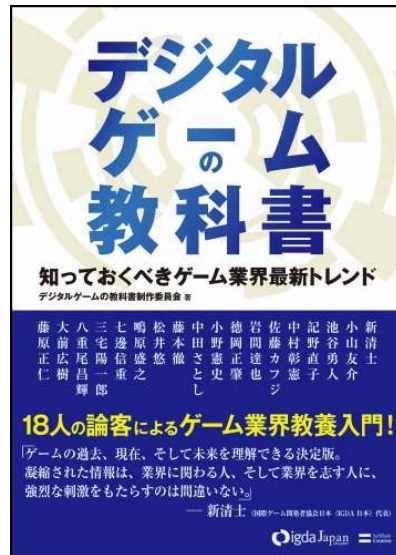
東京電機大学

2012.5.30

Twitter: @miyayou

Mail : y.m.4160@gmail.com

自己紹介(著作)



デジタルゲームの教科書:

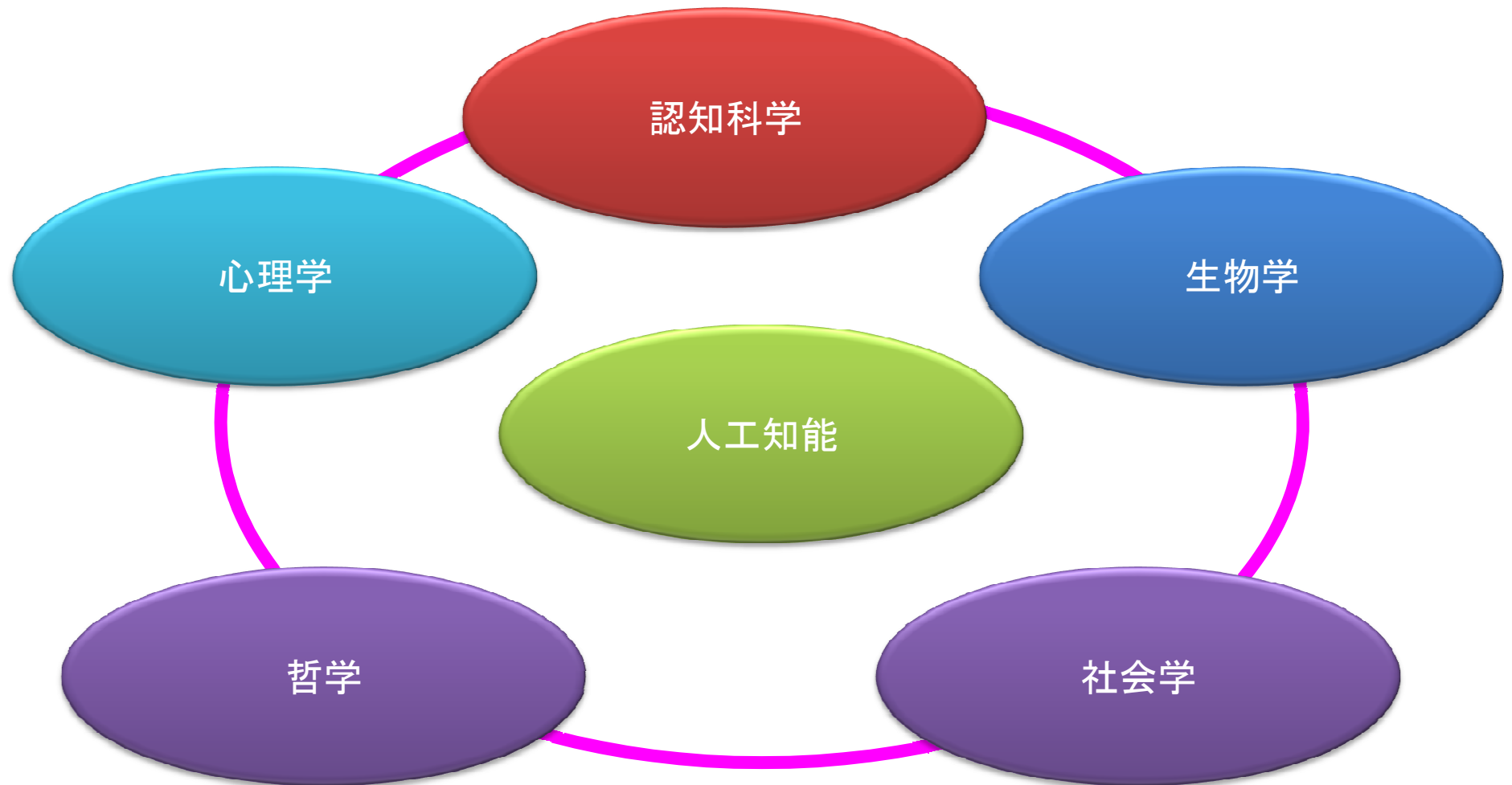
第22章 プロシージャル技術 (三宅)

第23章 デジタルゲームAI (三宅)

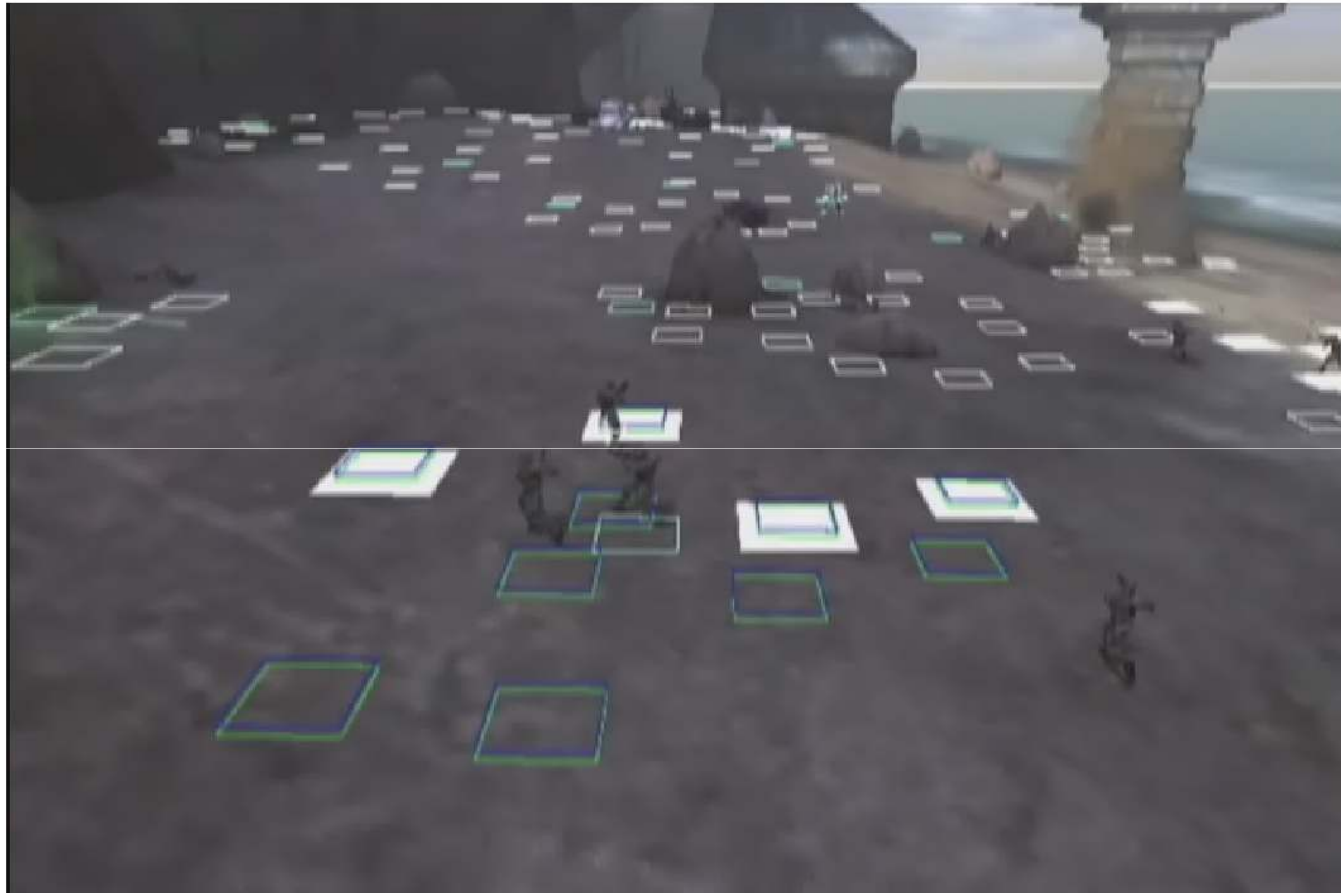
デジタルゲームの技術:

ゲームAIについてのロングインタビュー(三宅)

人工知能は外から知見を集めて 知能の構築を研究する学問



デモ



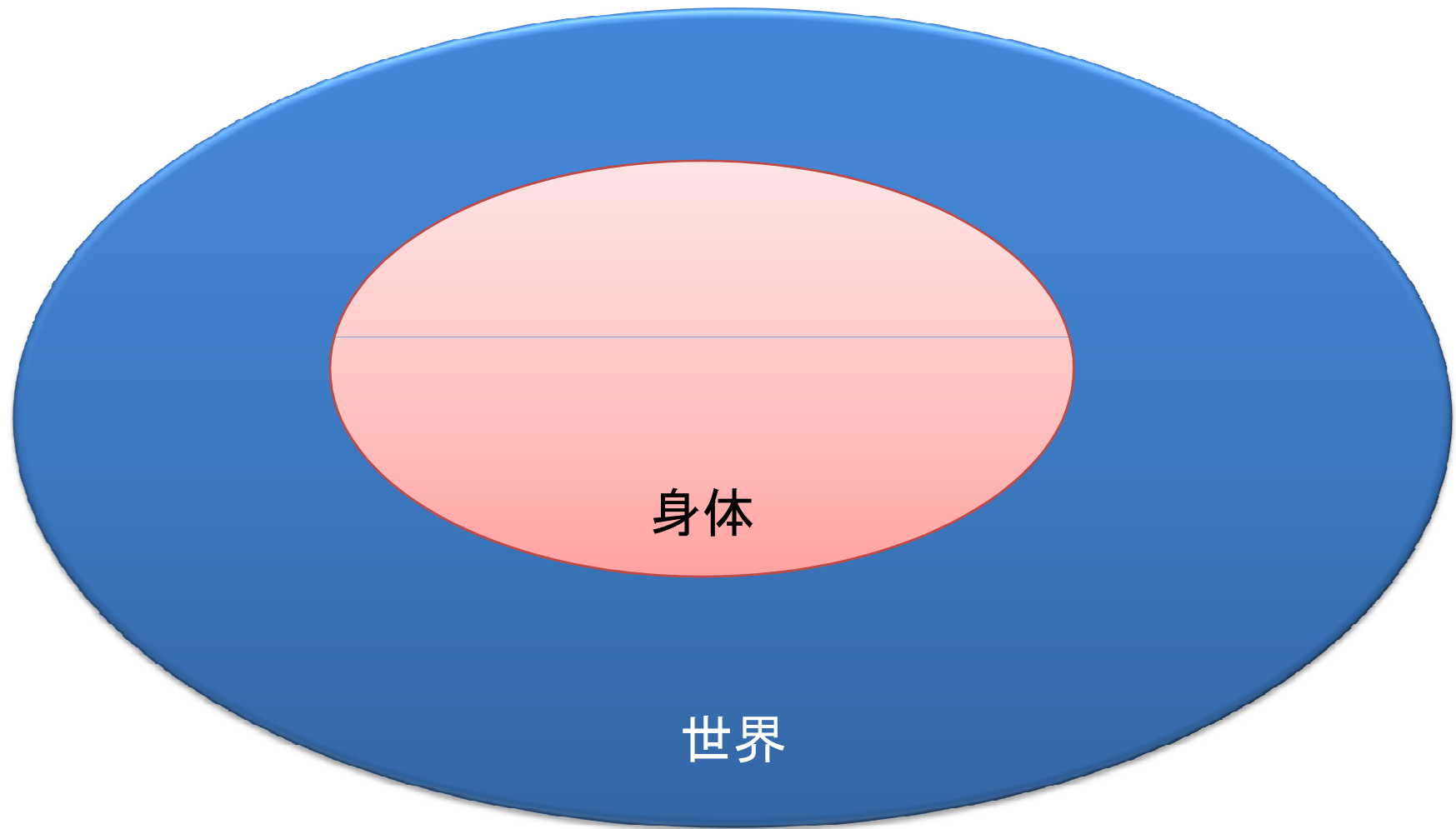
<http://www.bungie.net/inside/publications.aspx>

知性ってなんだろう？

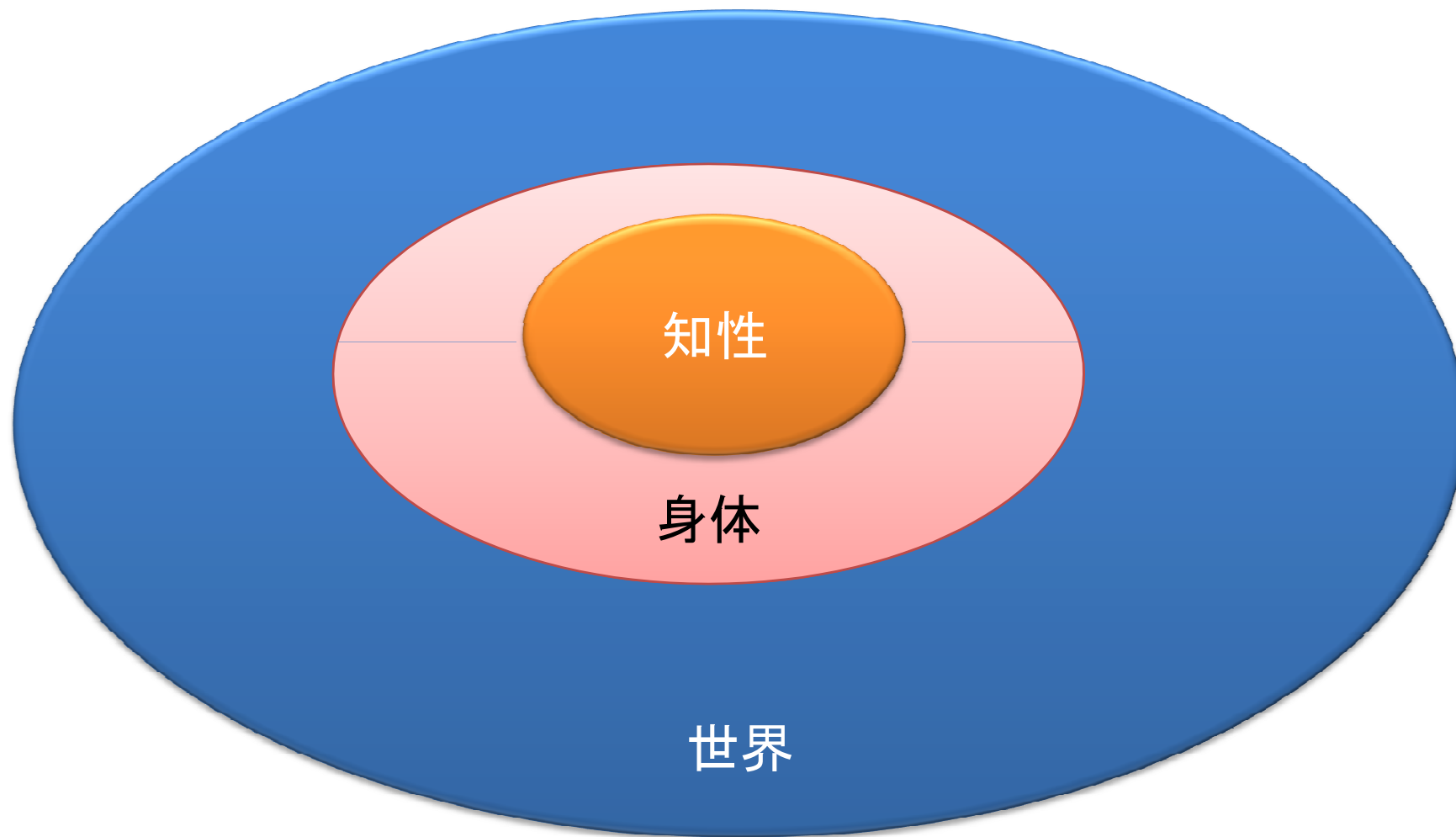


世界

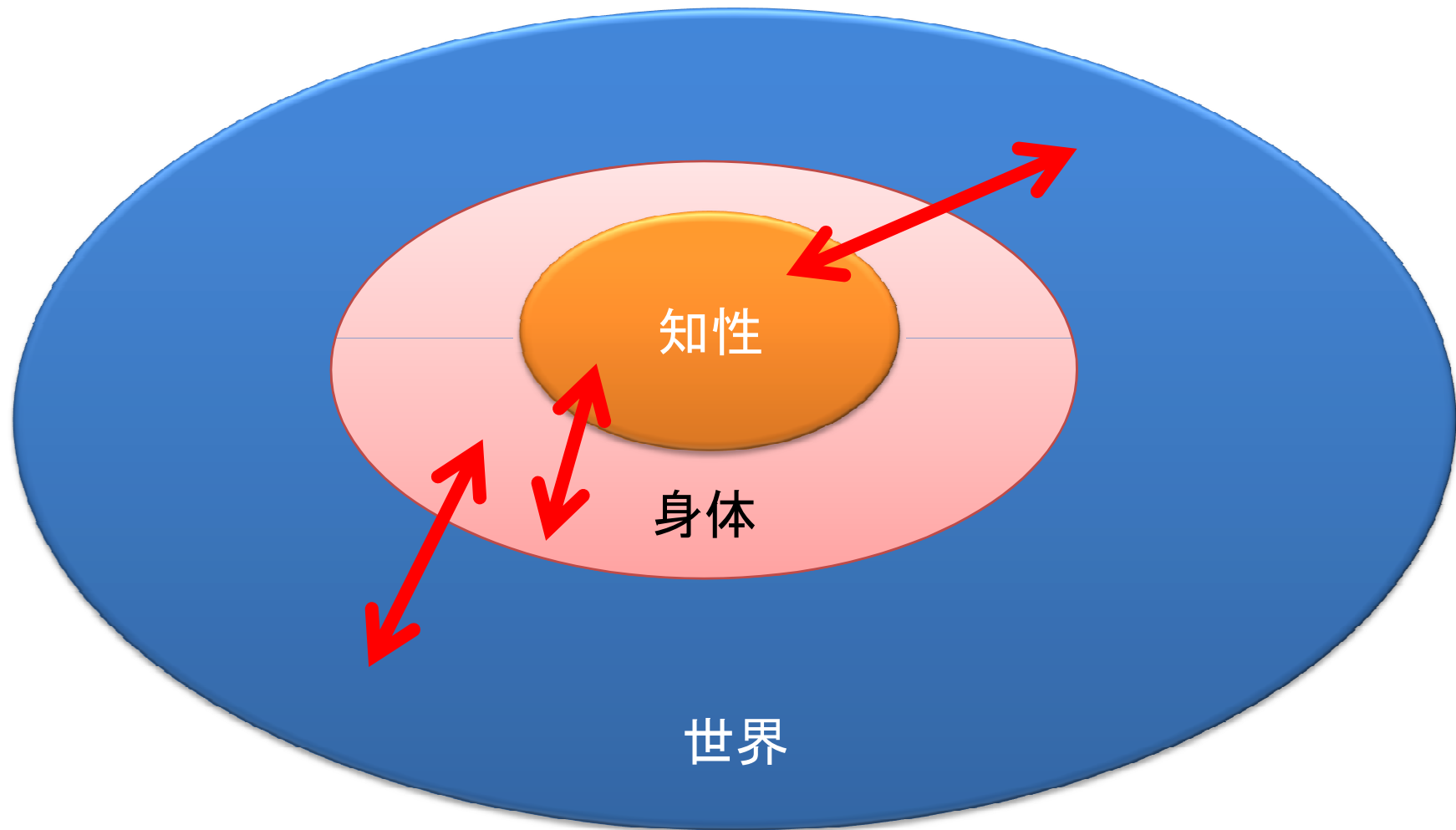
知性ってなんだろう？



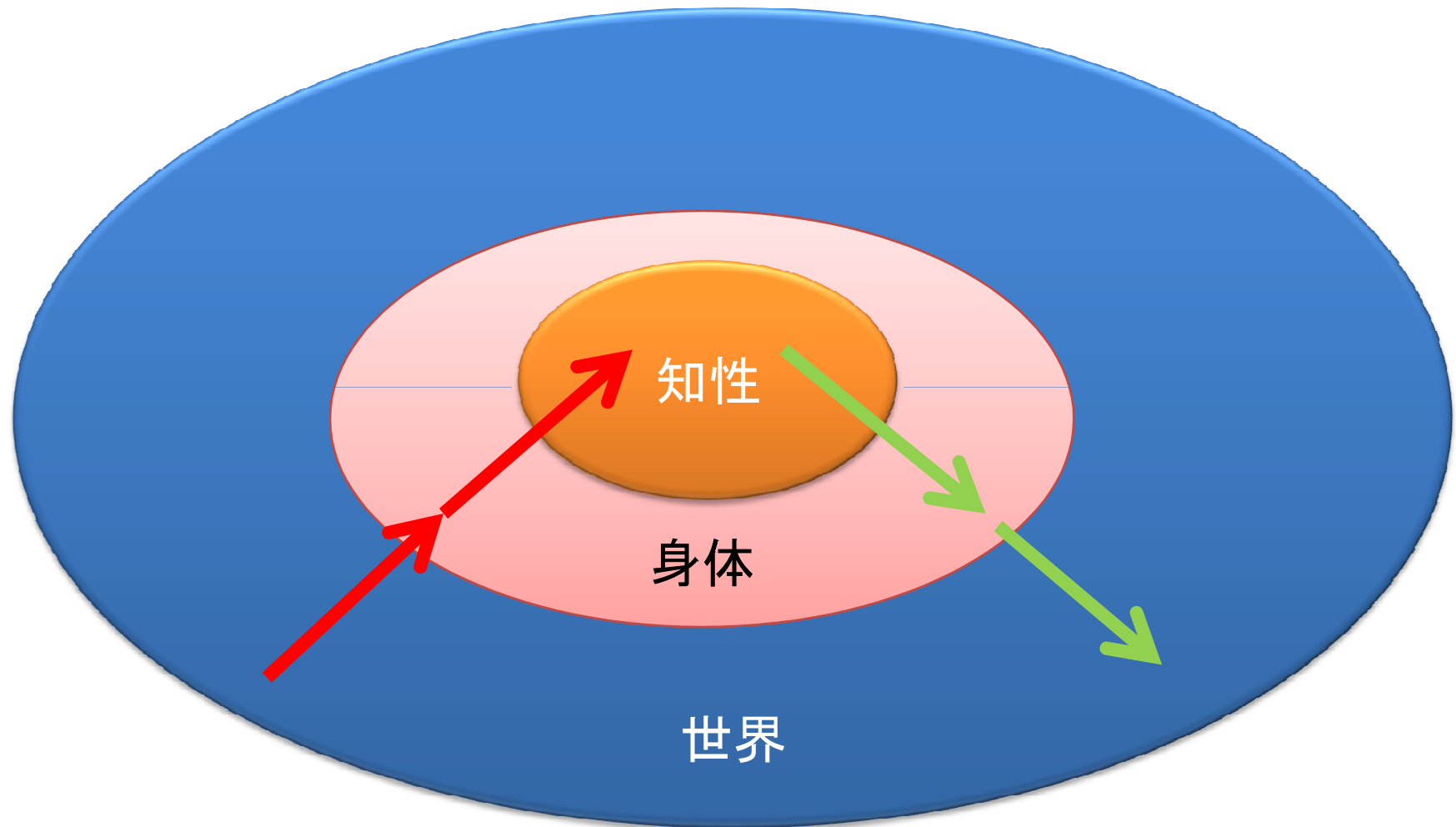
知性ってなんだろう？



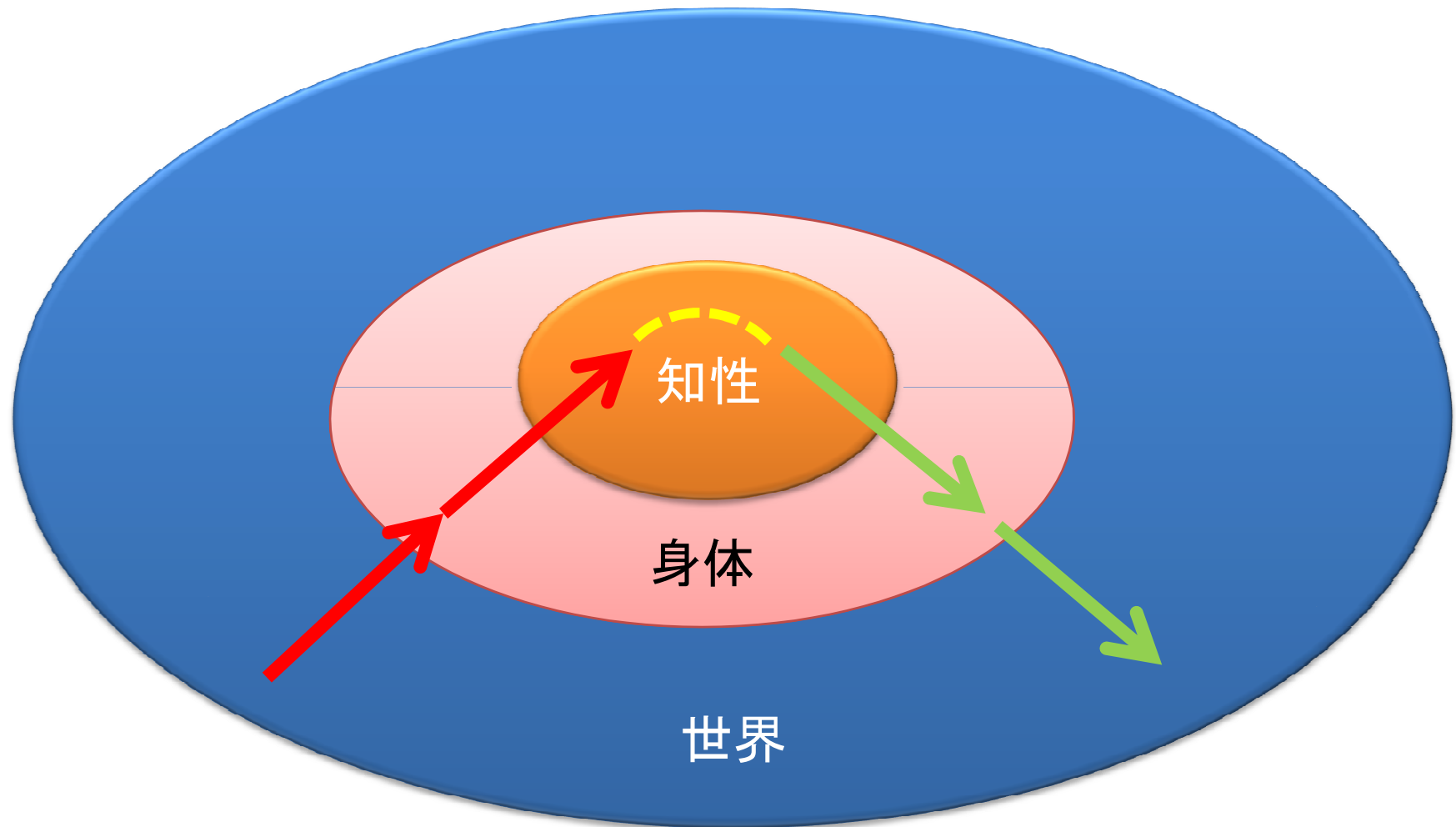
知性ってなんだろう？



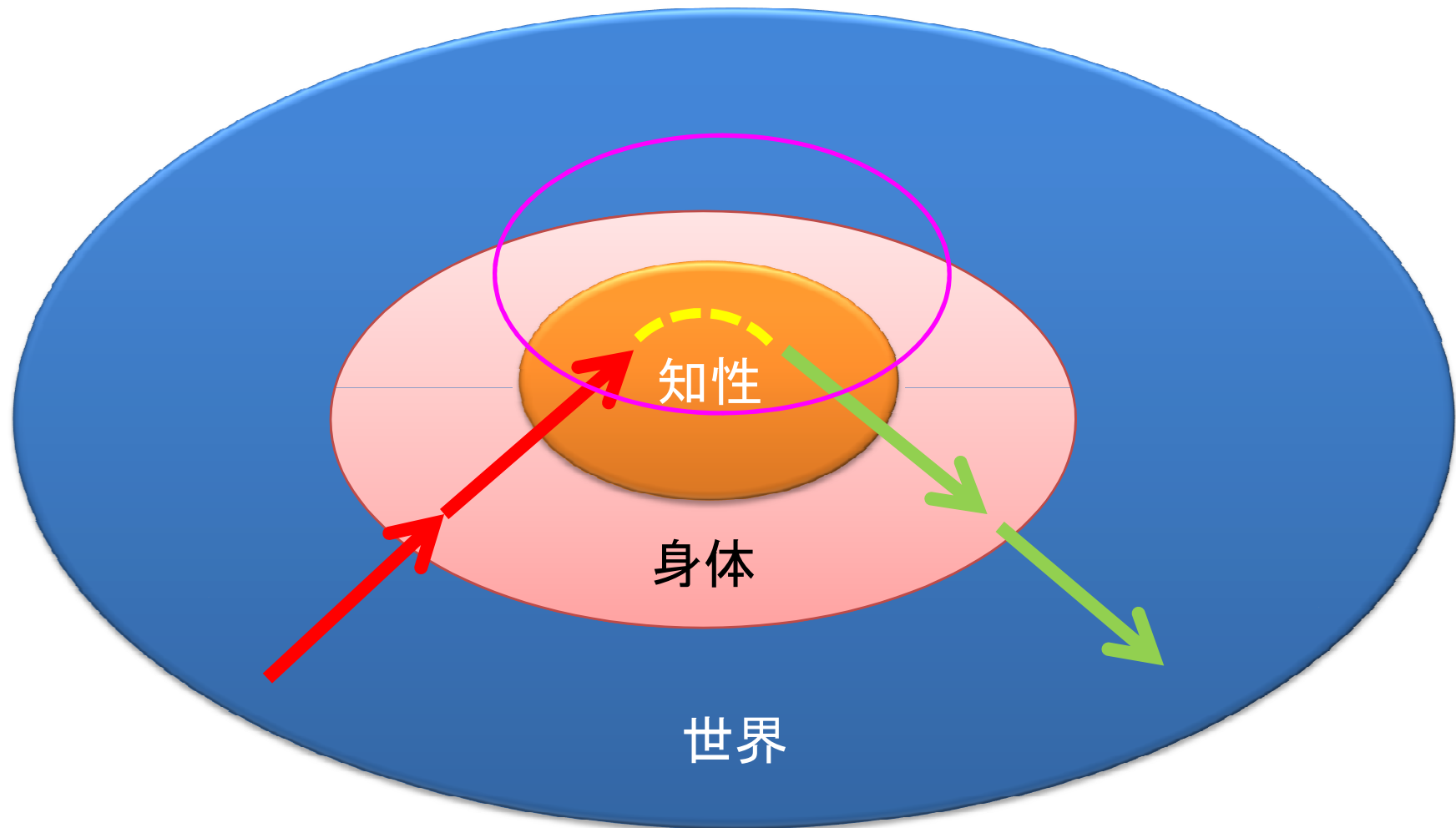
知性ってなんだろう？

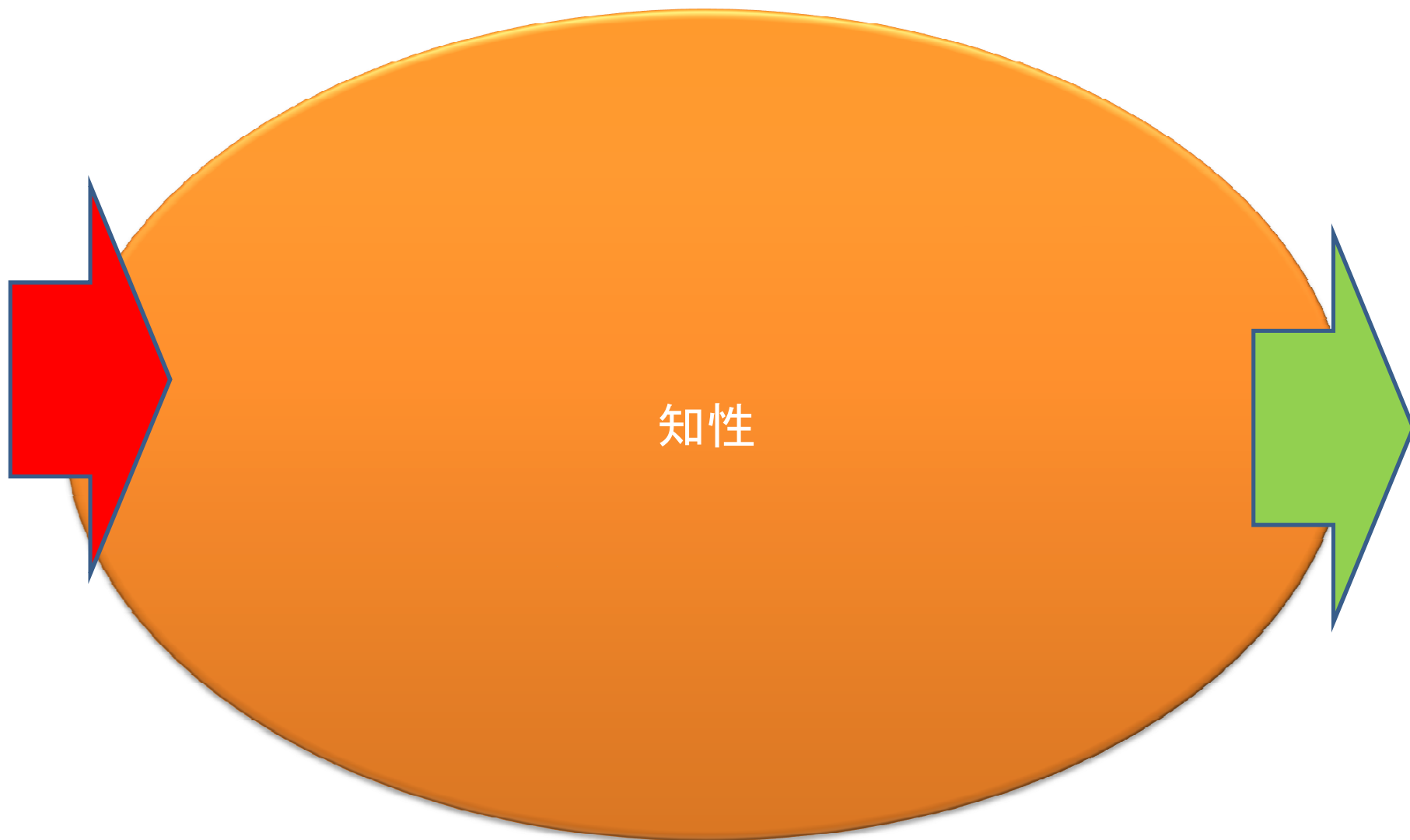


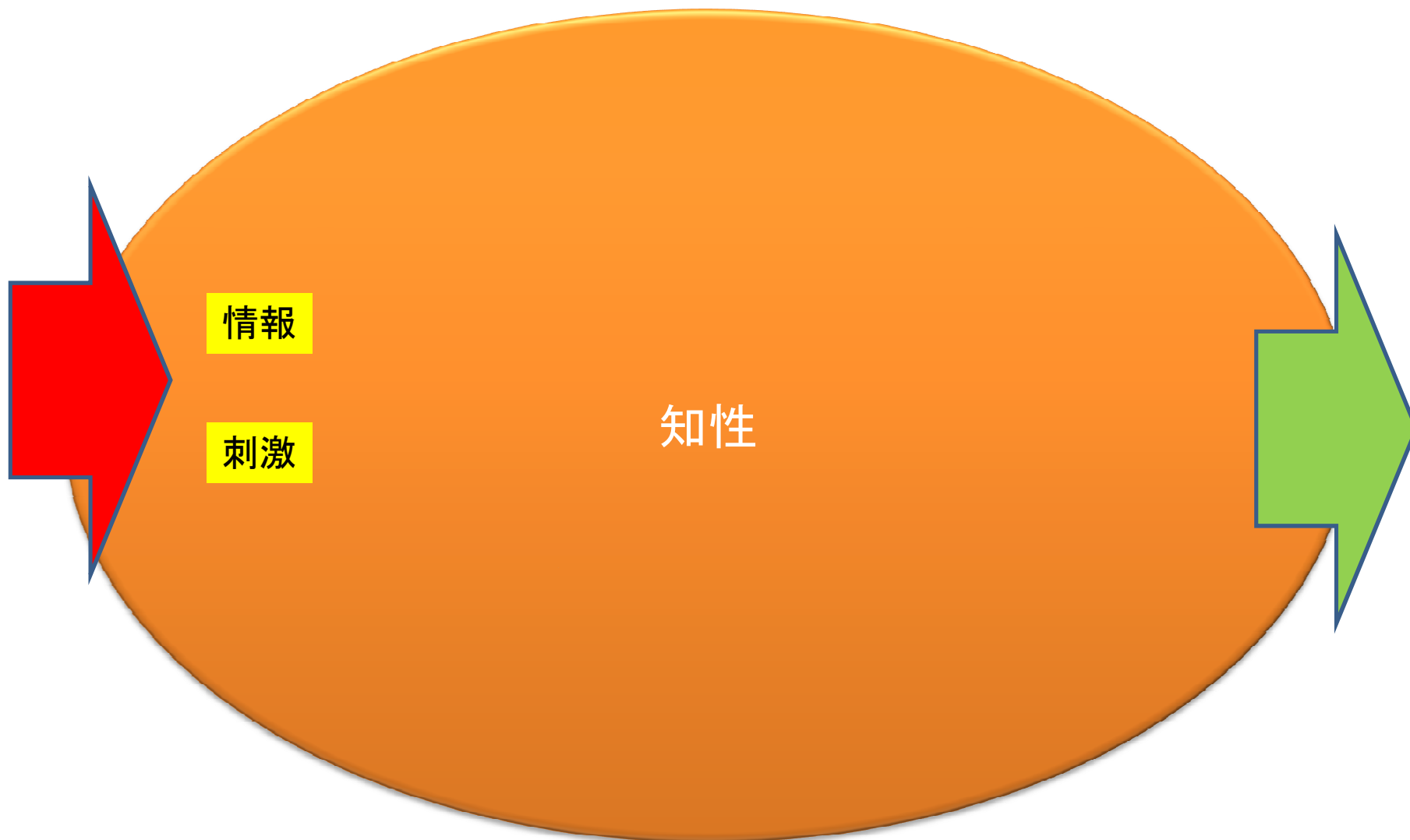
知性ってなんだろう？

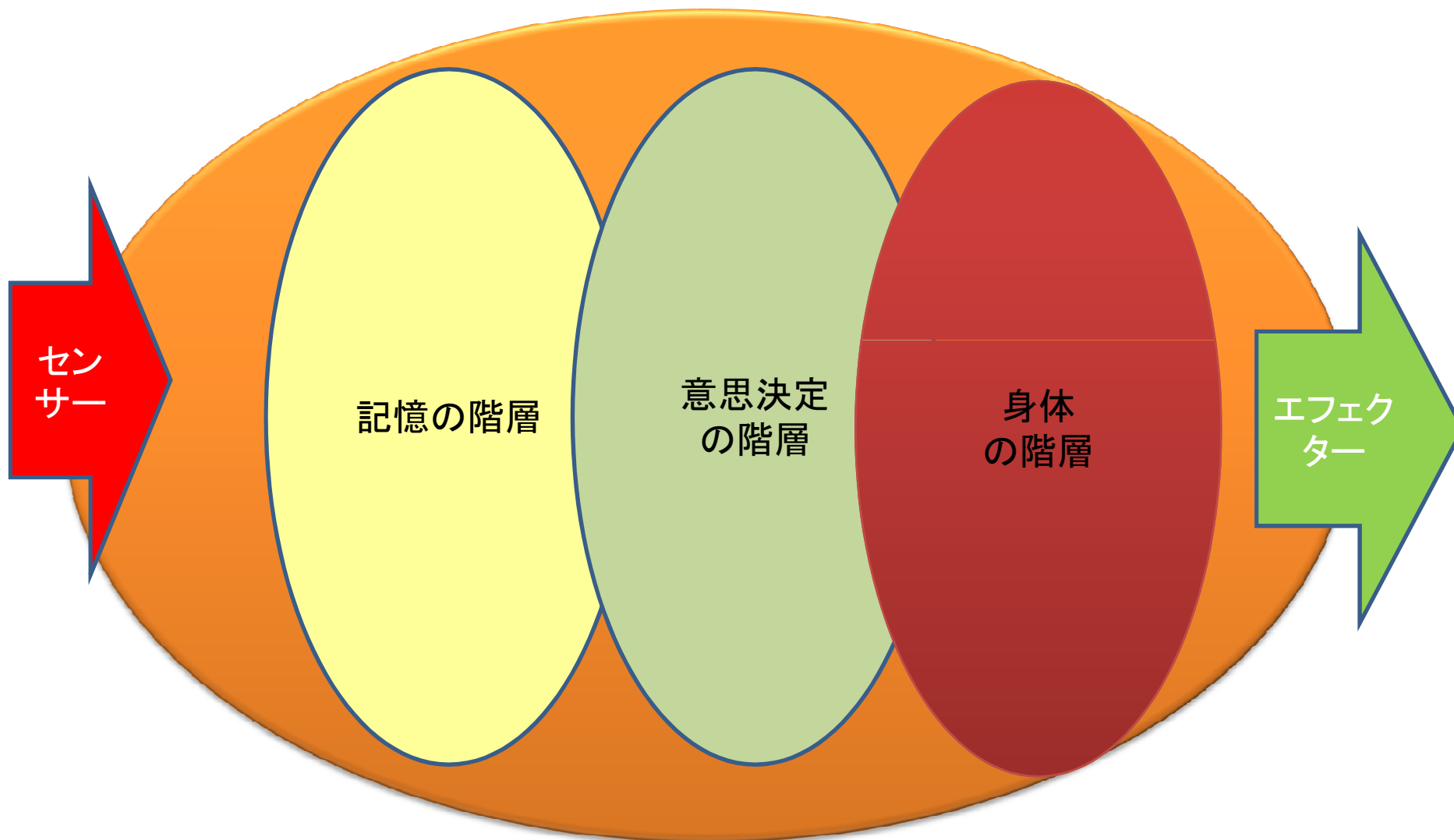


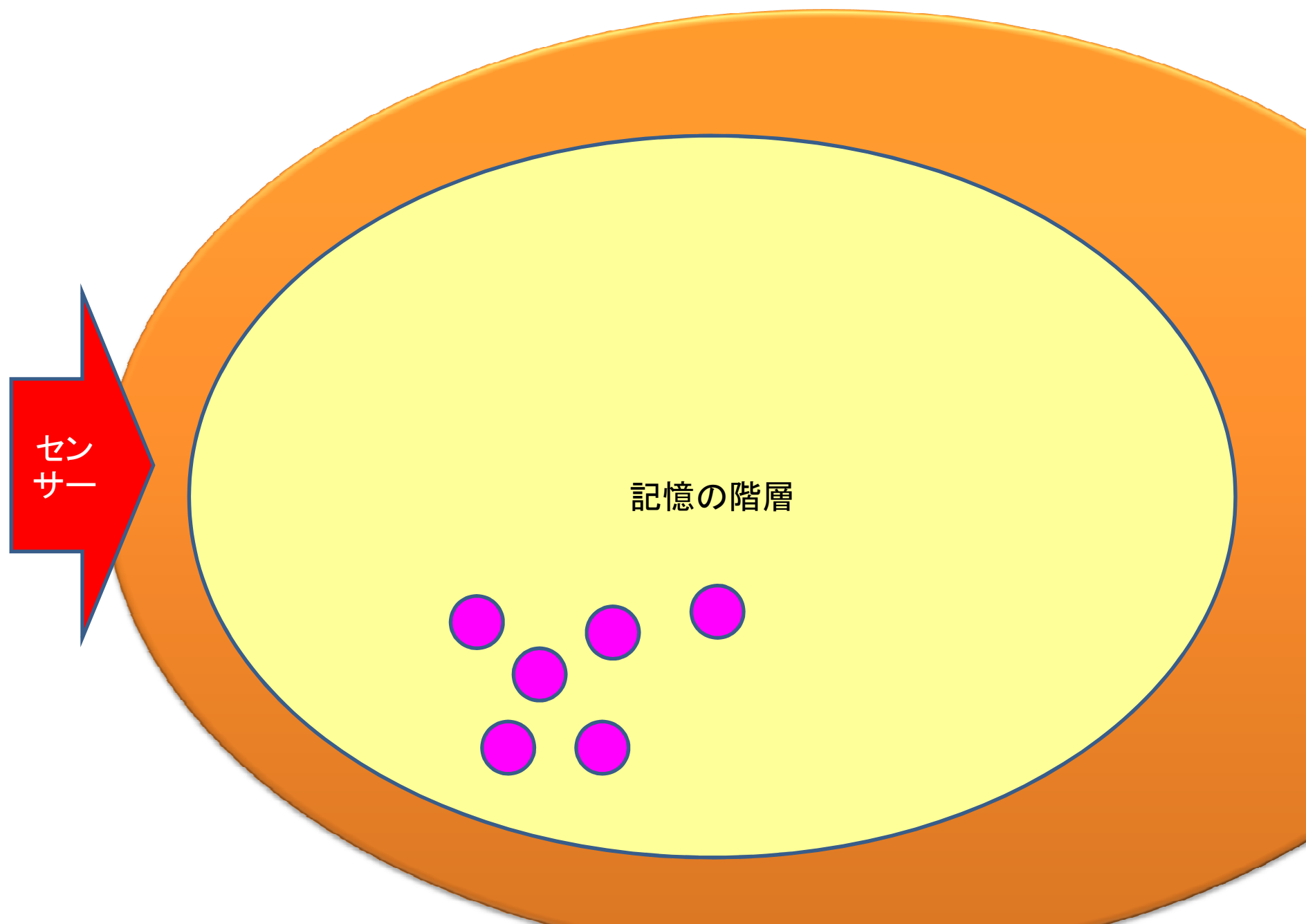
知性ってなんだろう？

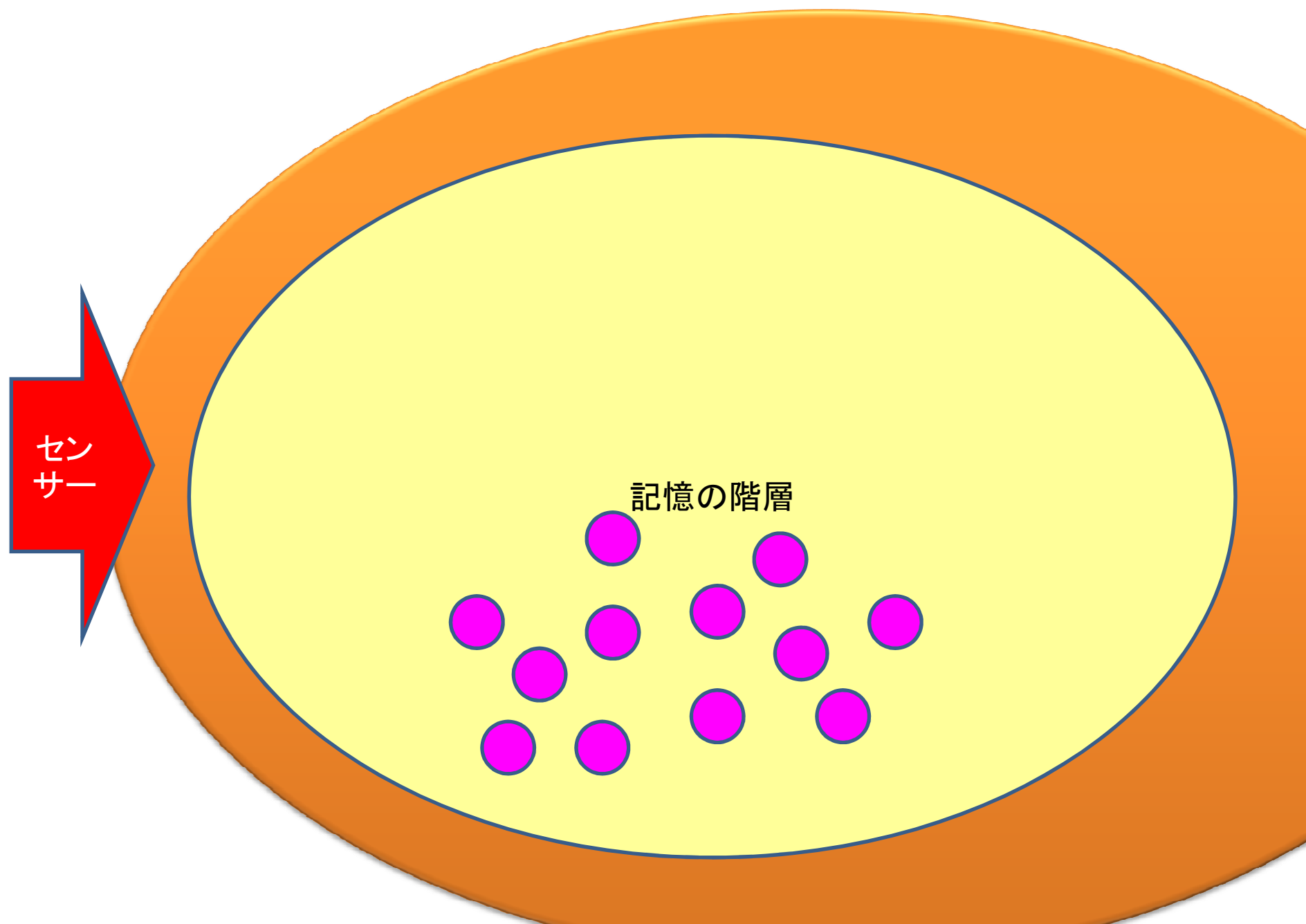




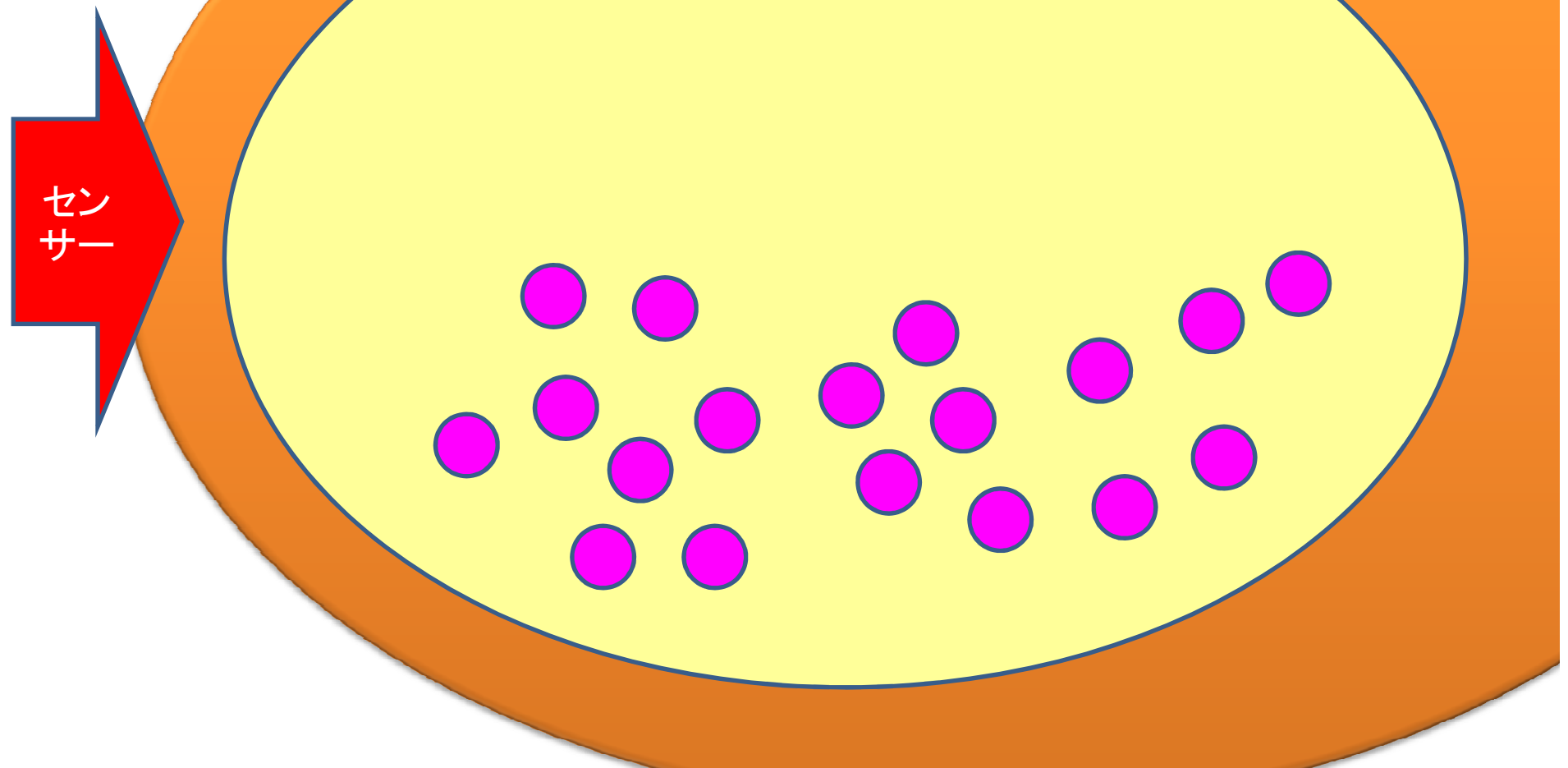




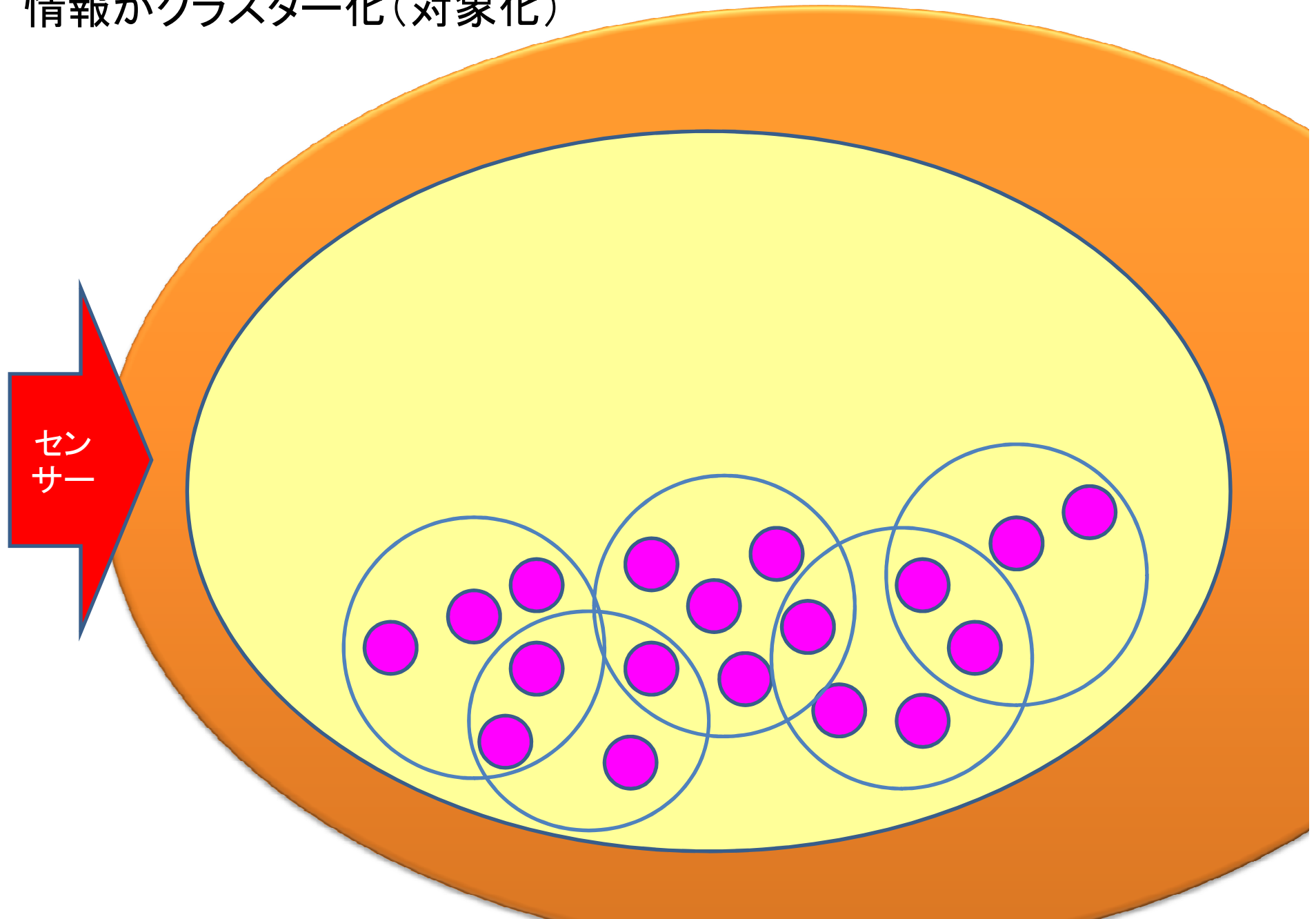




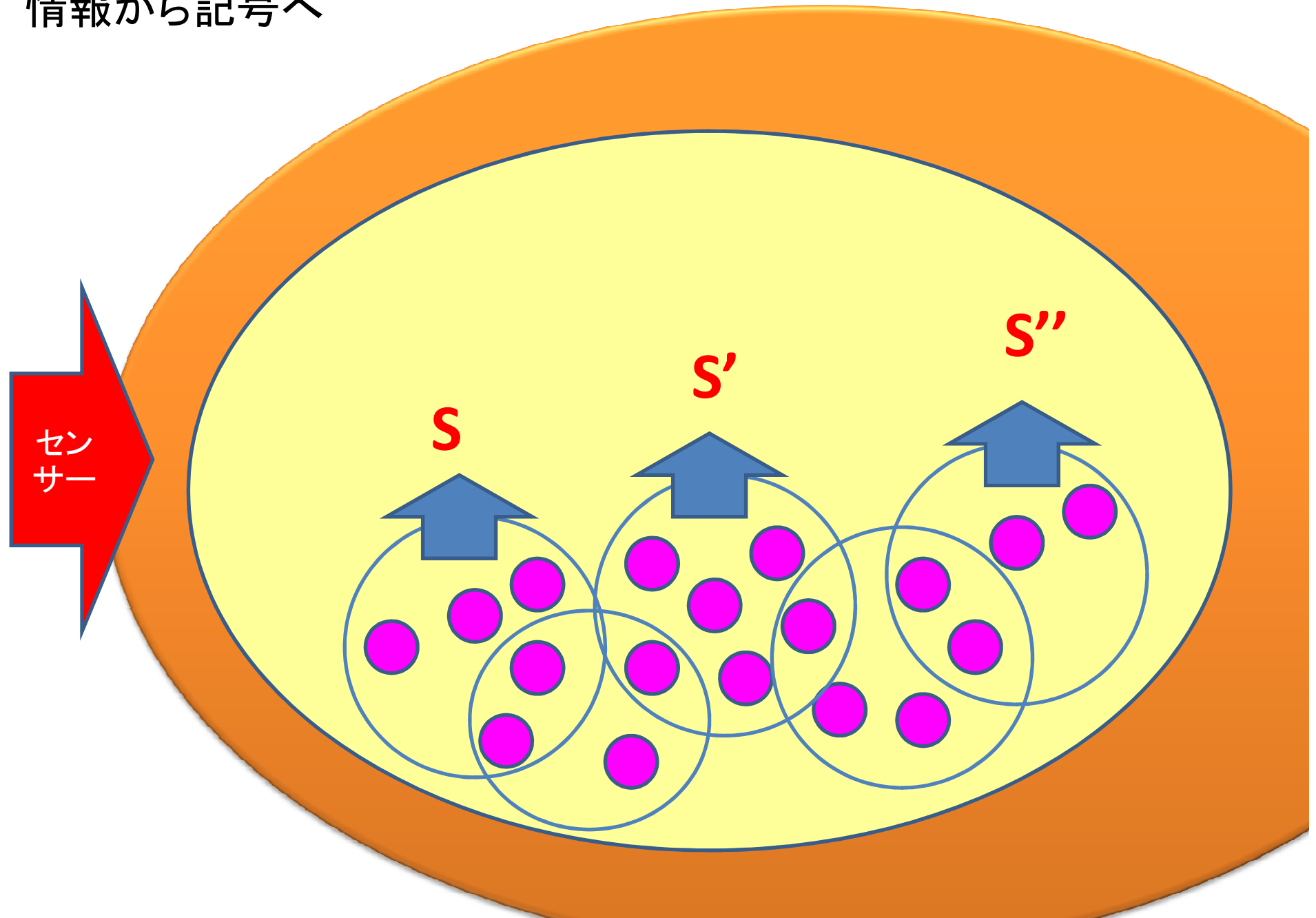
情報が蓄積



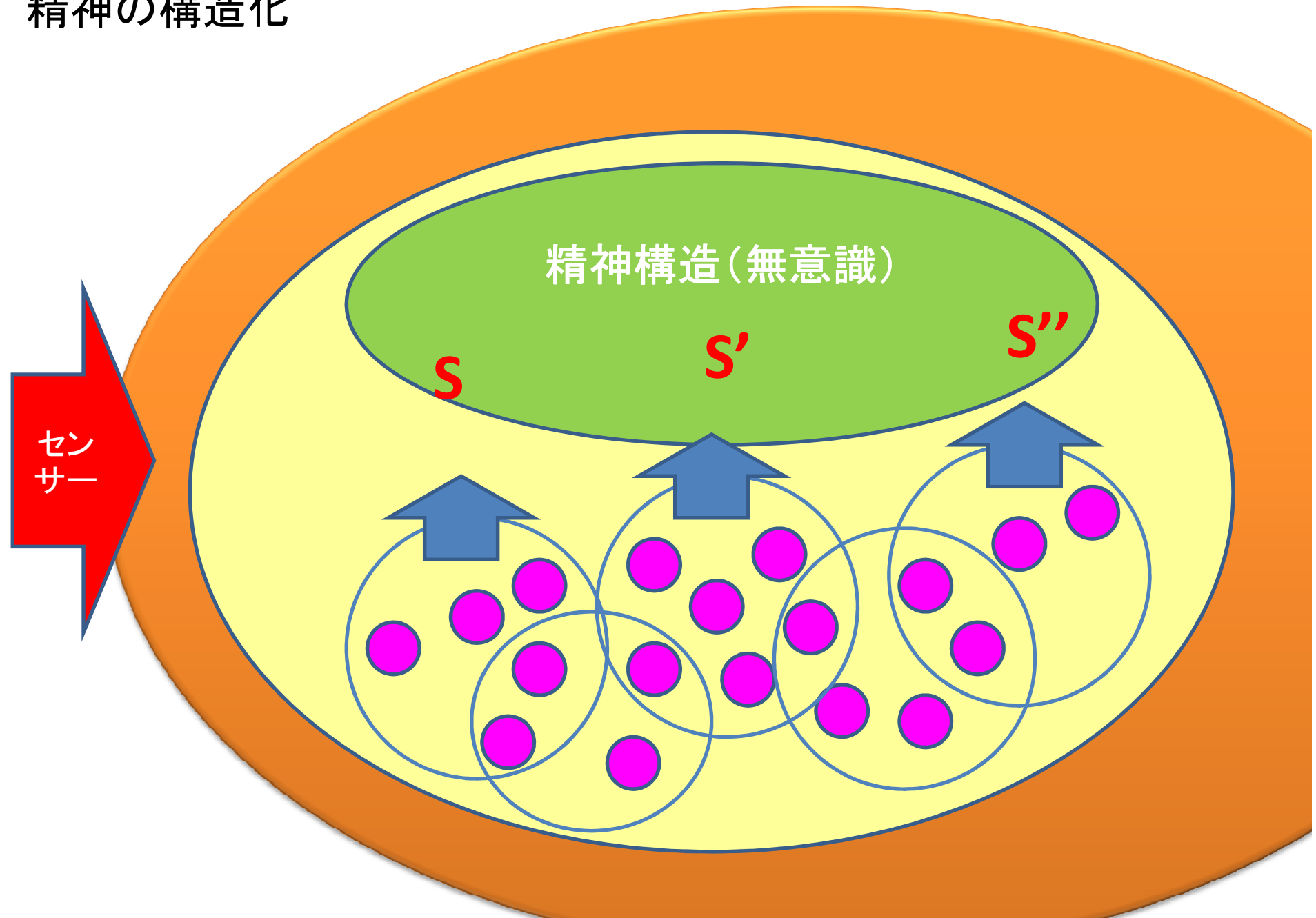
情報がクラスター化(対象化)



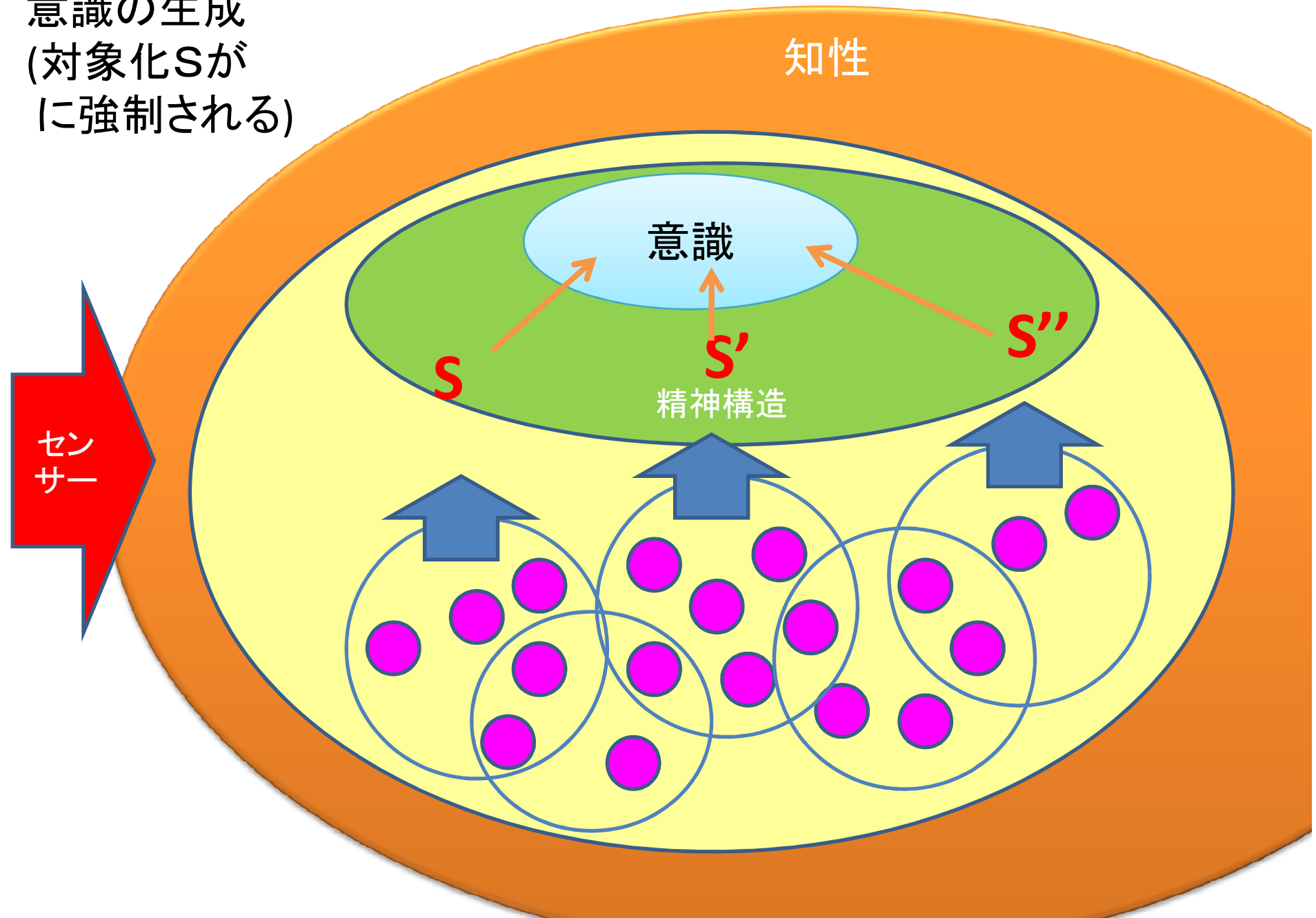
情報から記号へ

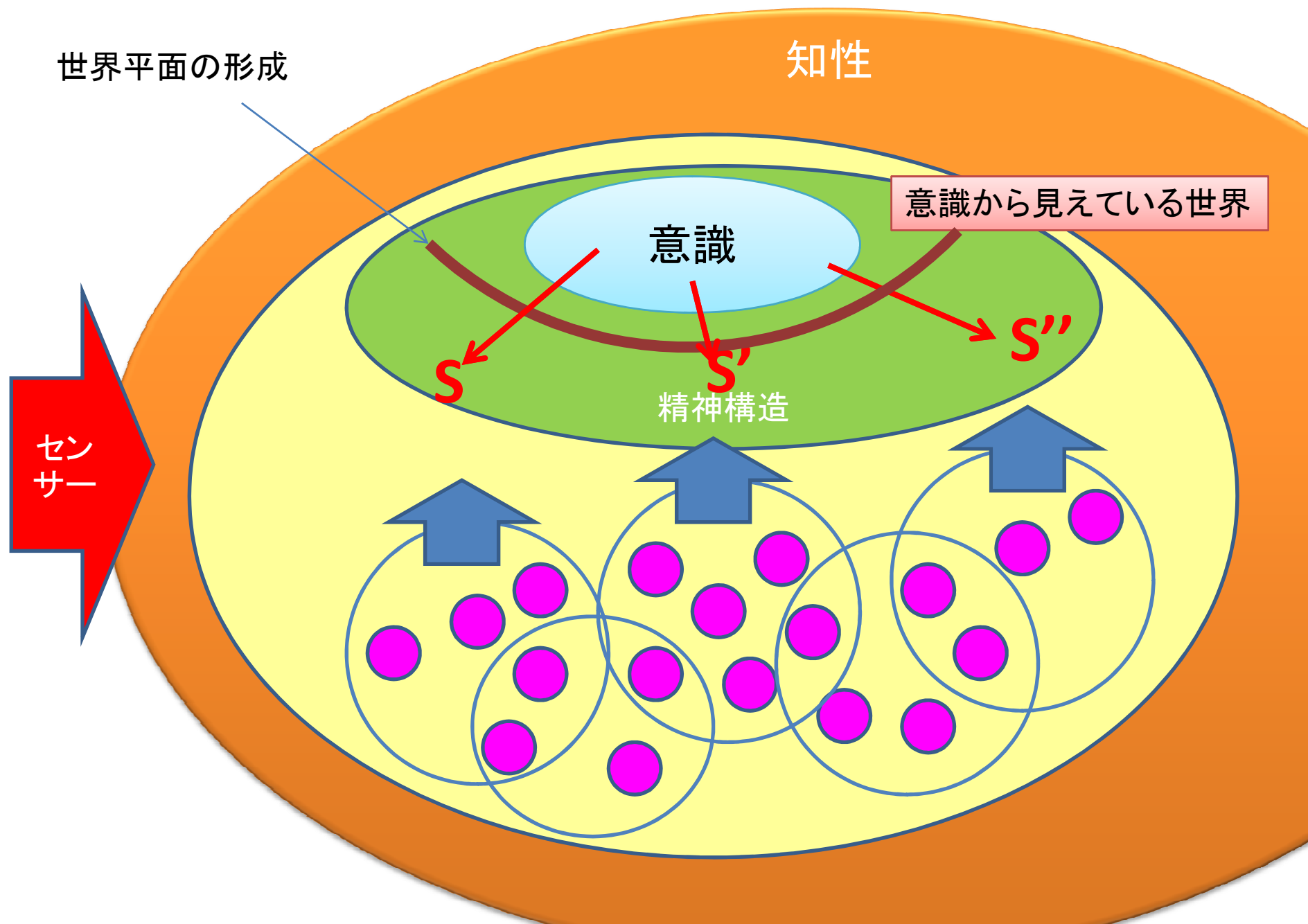


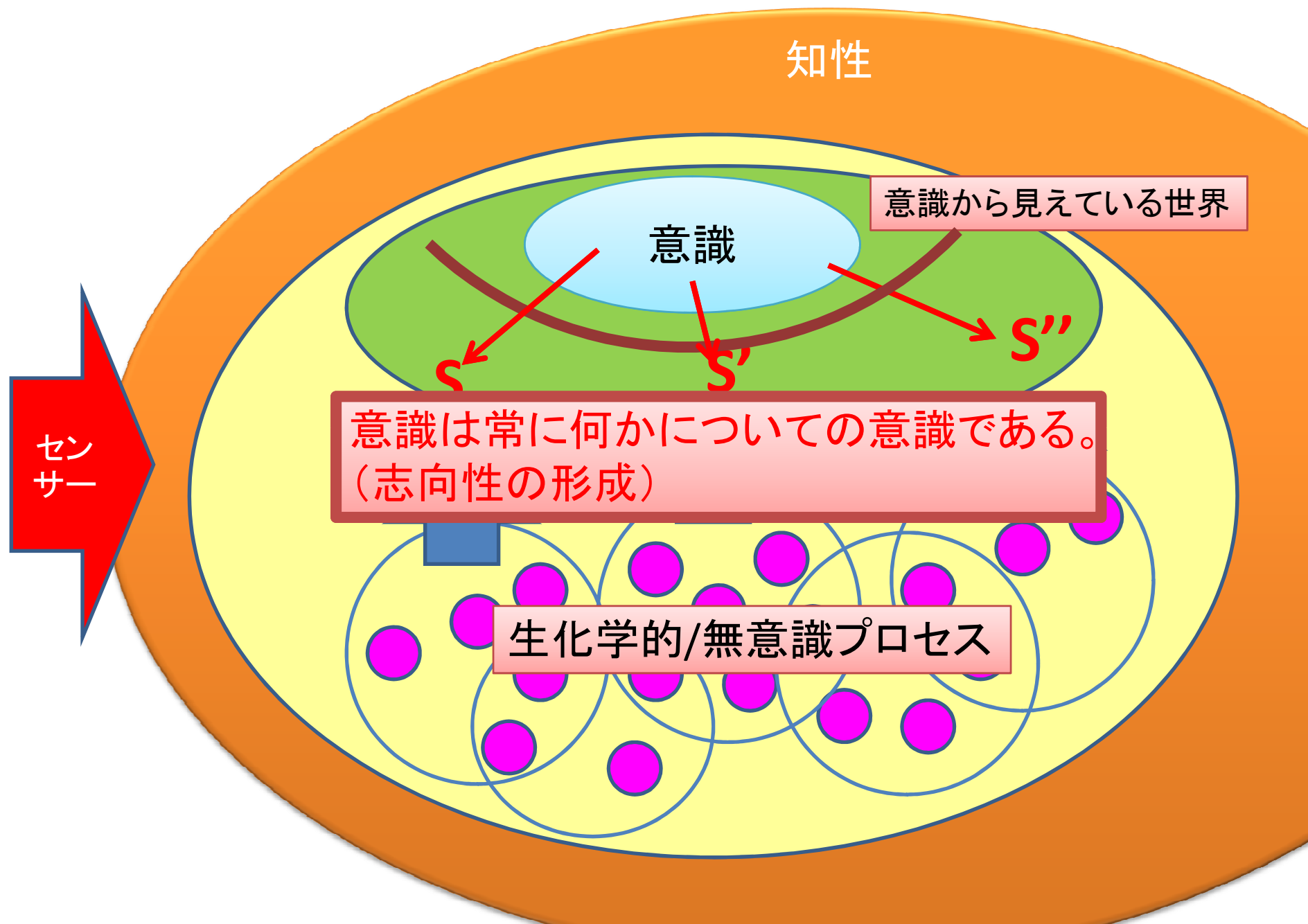
精神の構造化



意識の生成
(対象化Sが
に強制される)







知性

意識

意識から見えている世界

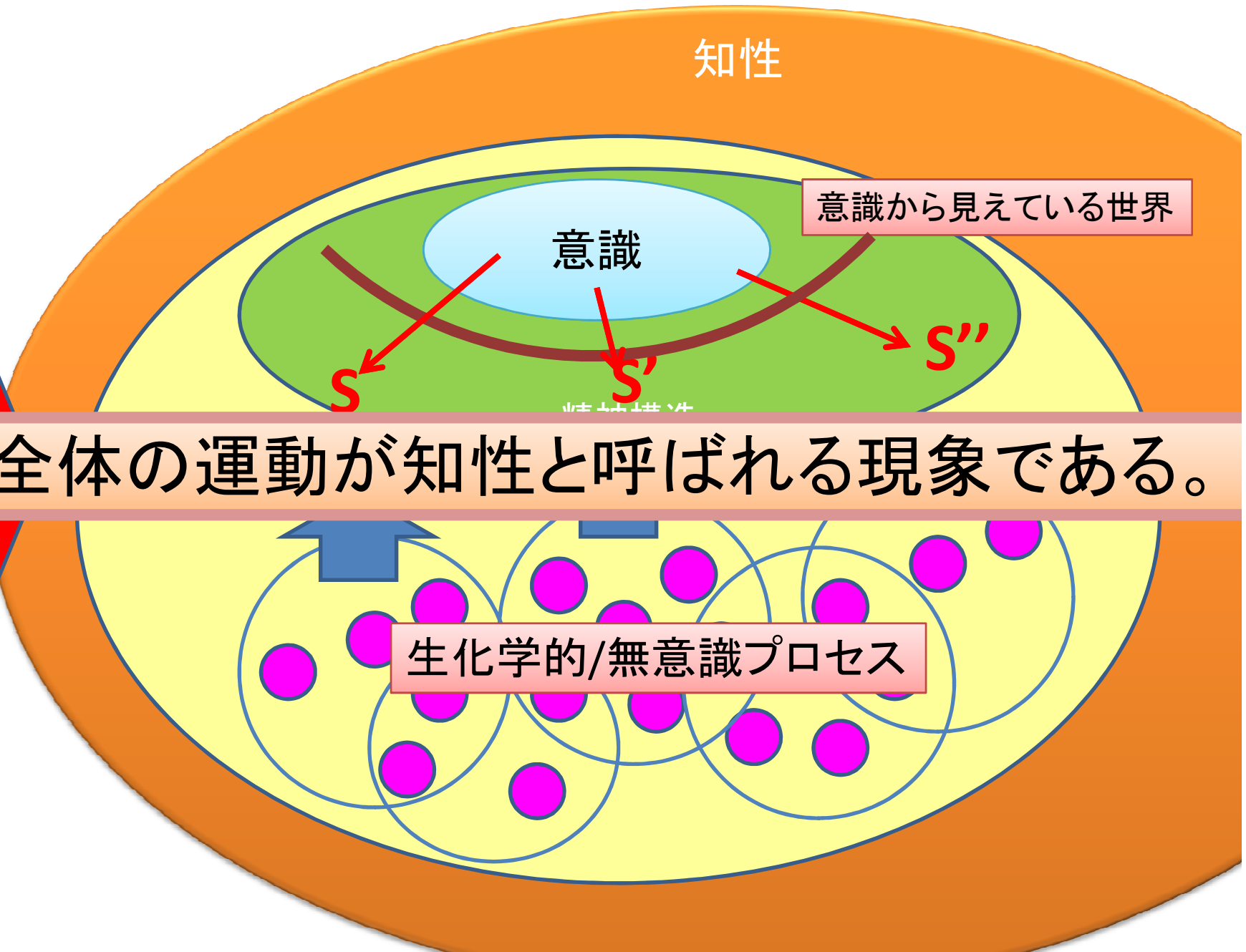
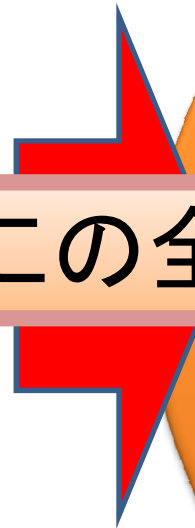
S

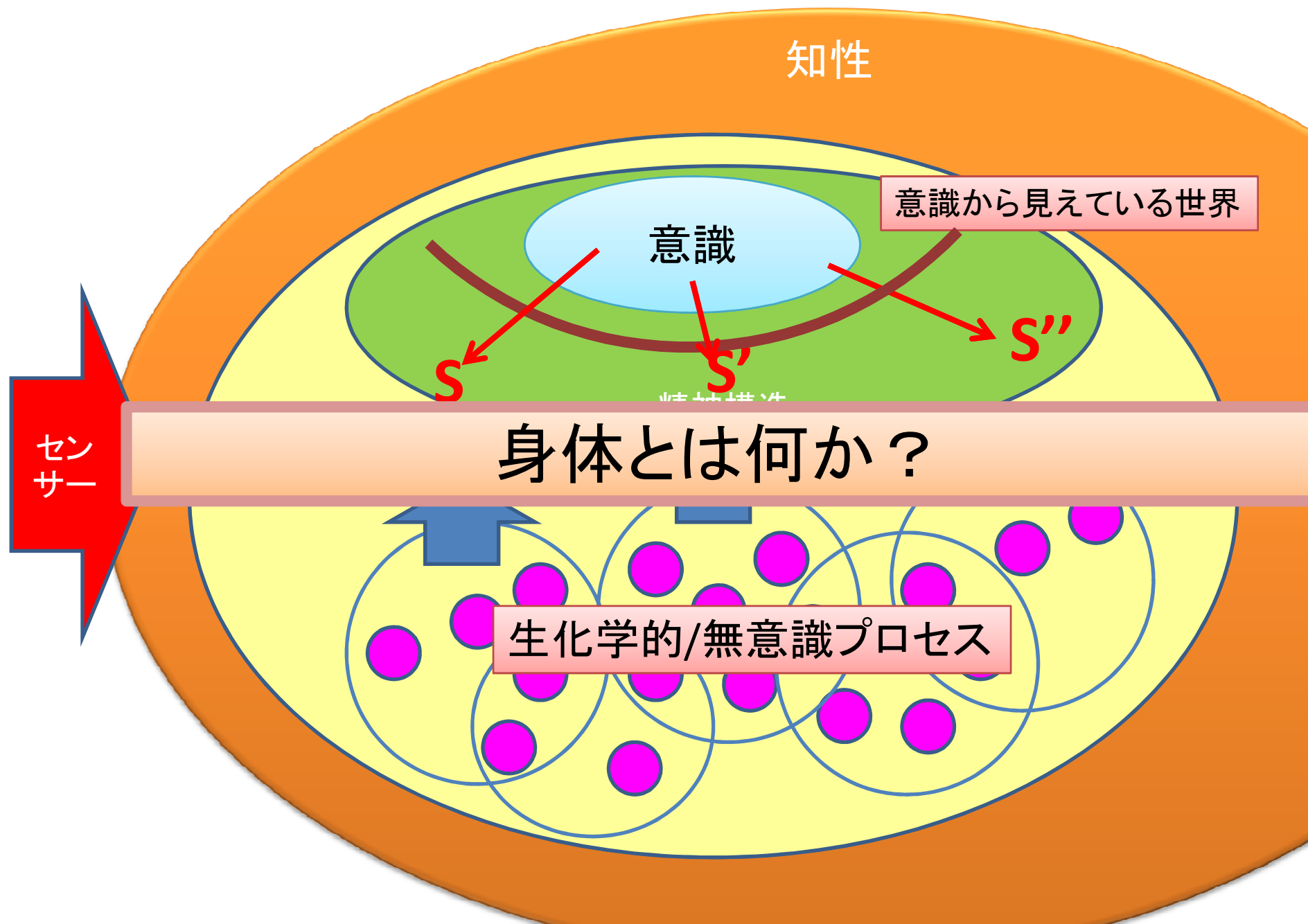
S'

S''

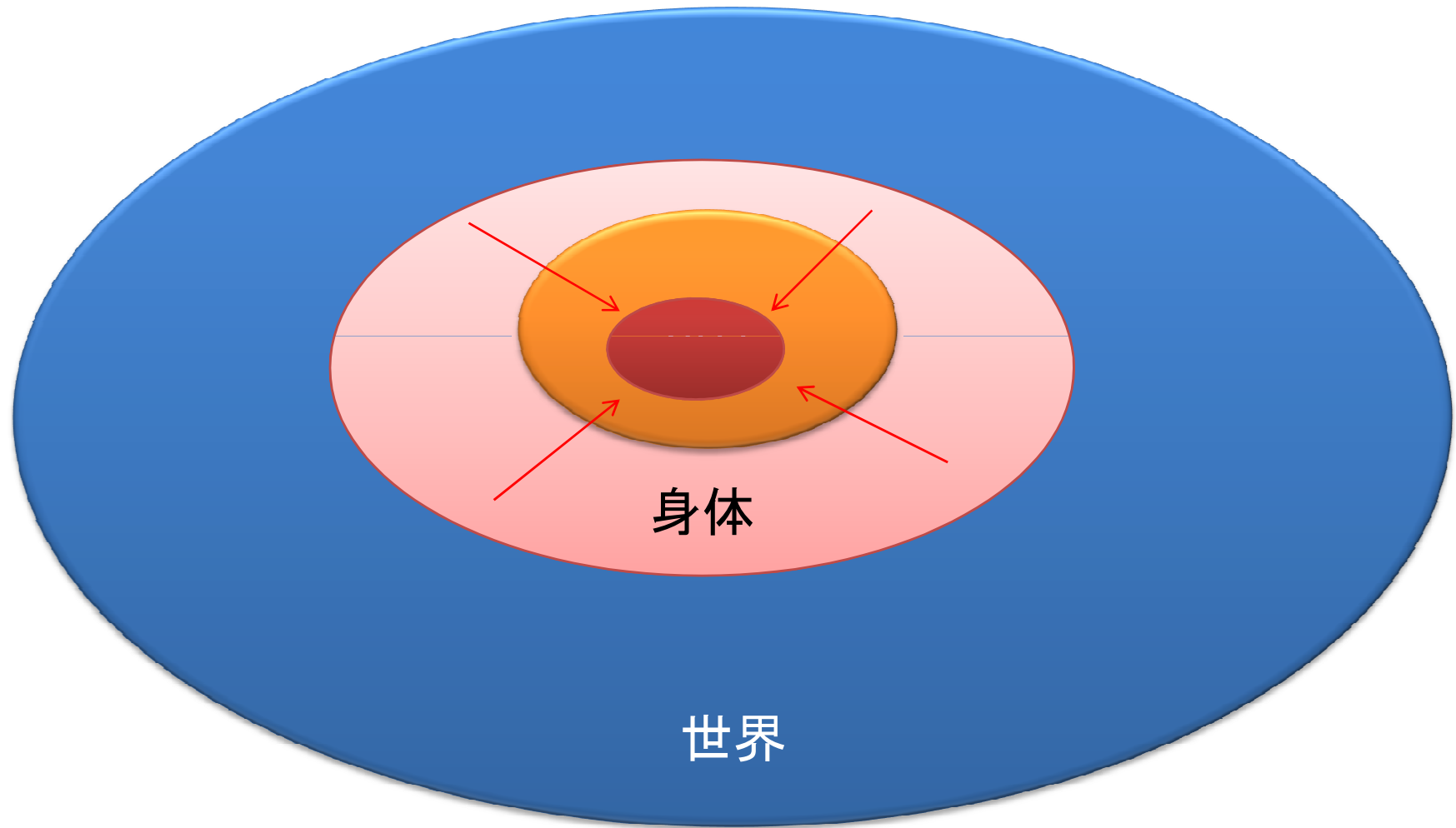
この全体の運動が知性と呼ばれる現象である。

生化学的/無意識プロセス

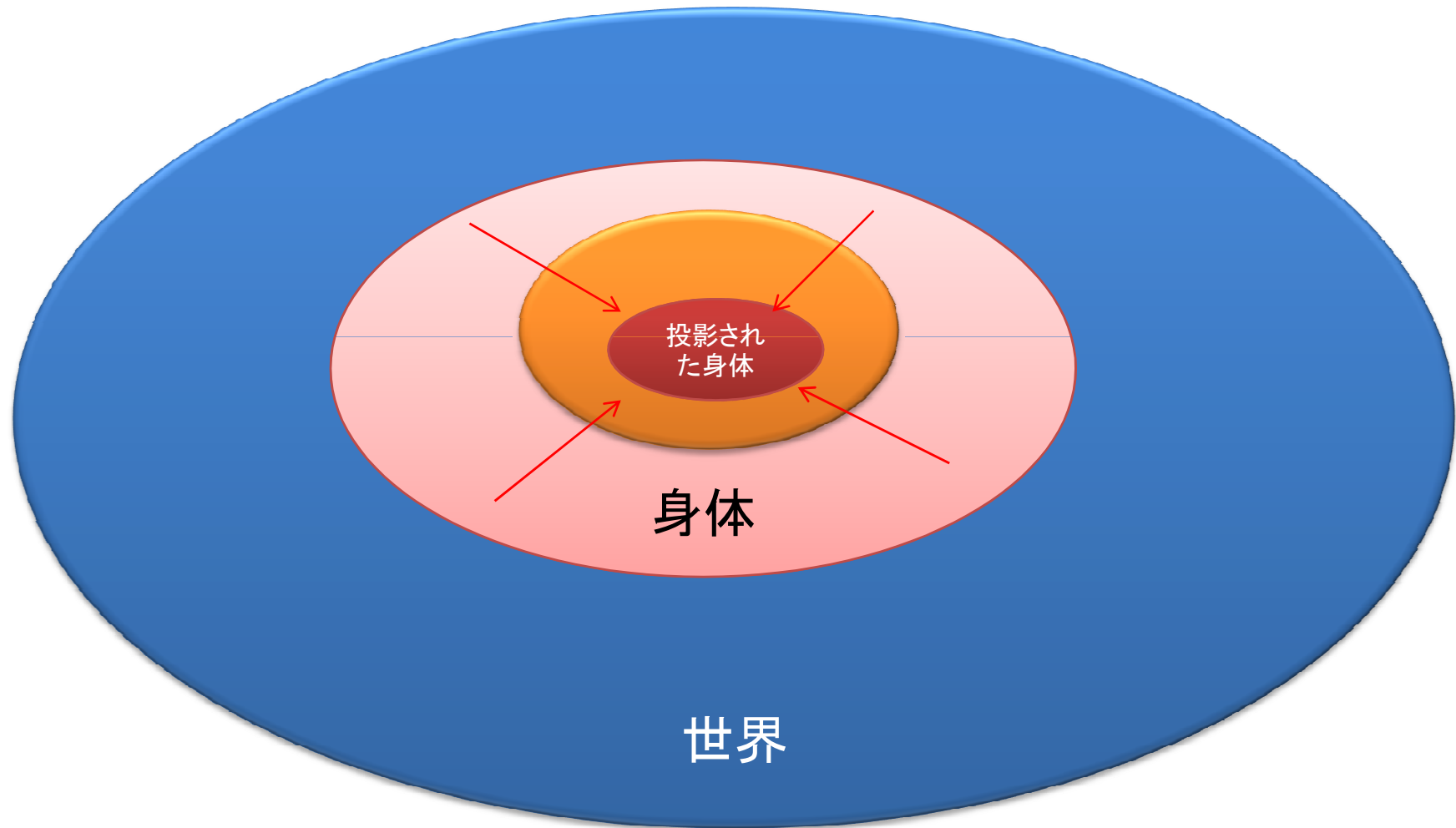




身体ってなんだろう？



身体は知性(脳)の中に
マッピングされている



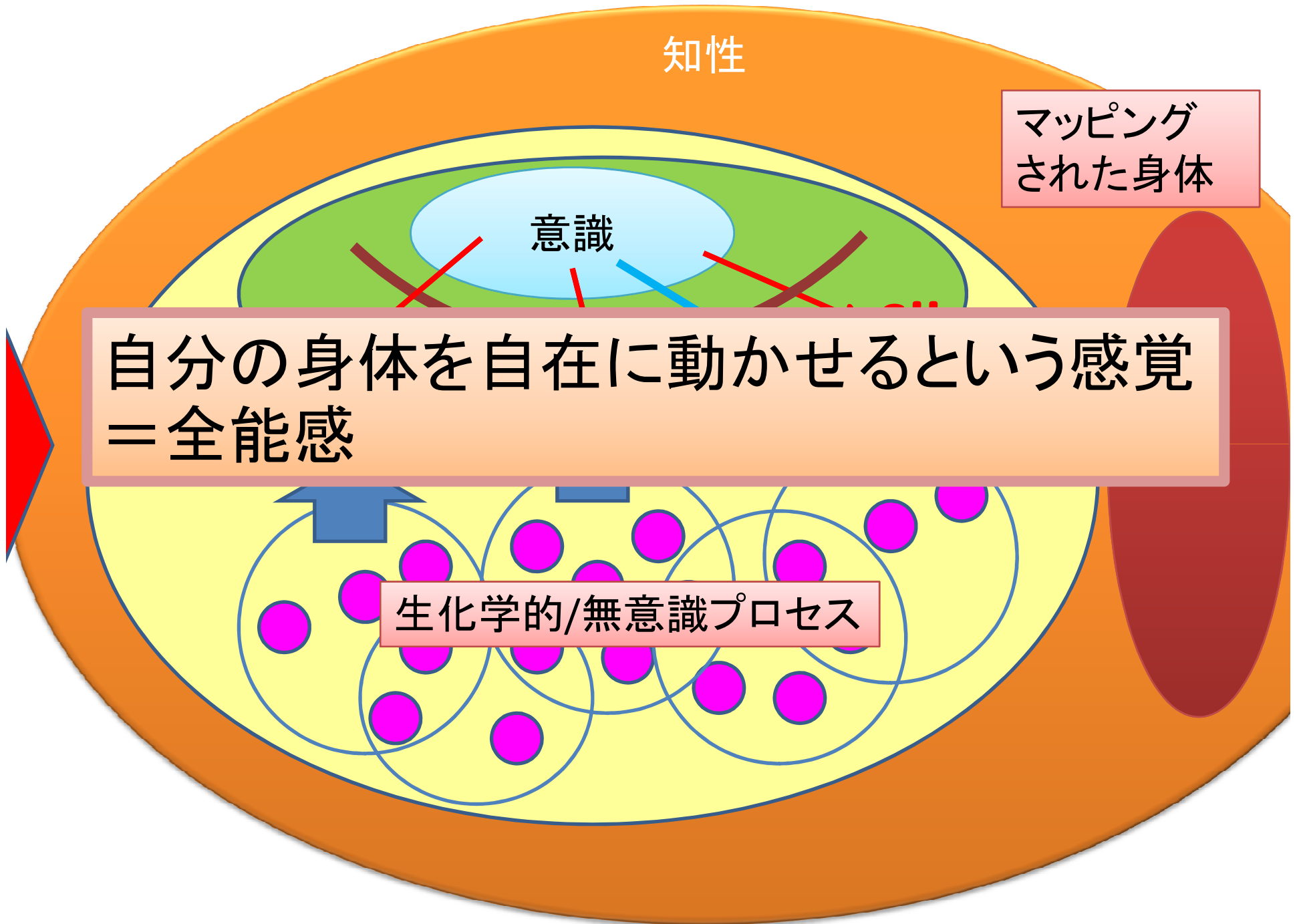
知性

マッピング
された身体

意識

自分の身体を自在に動かせるという感覚
＝全能感

生化学的/無意識プロセス



実際のゲーム

Halo



- ◆ 内容: 宇宙船や地表を舞台にしたSFのFPS
- ◆ 開発元: BUNGIE Studio
- ◆ 出版: Microsoft
- ◆ Hardware: Xbox, Windows, Mac
- ◆ 出版年: 2002年

Xbox, 全米、世界を代表するFPSの一つ(Halo 500万本 Halo2 700万 国内10万本)
「愛嬌のあるNPC」とその演出で、プレイヤーからの定評を得る。

Halo NPC



グラント

ちょこまかと
動き回る。
愛嬌がある。



ジャッカル

手堅い。



エリート

大型。

敵(コグナント)

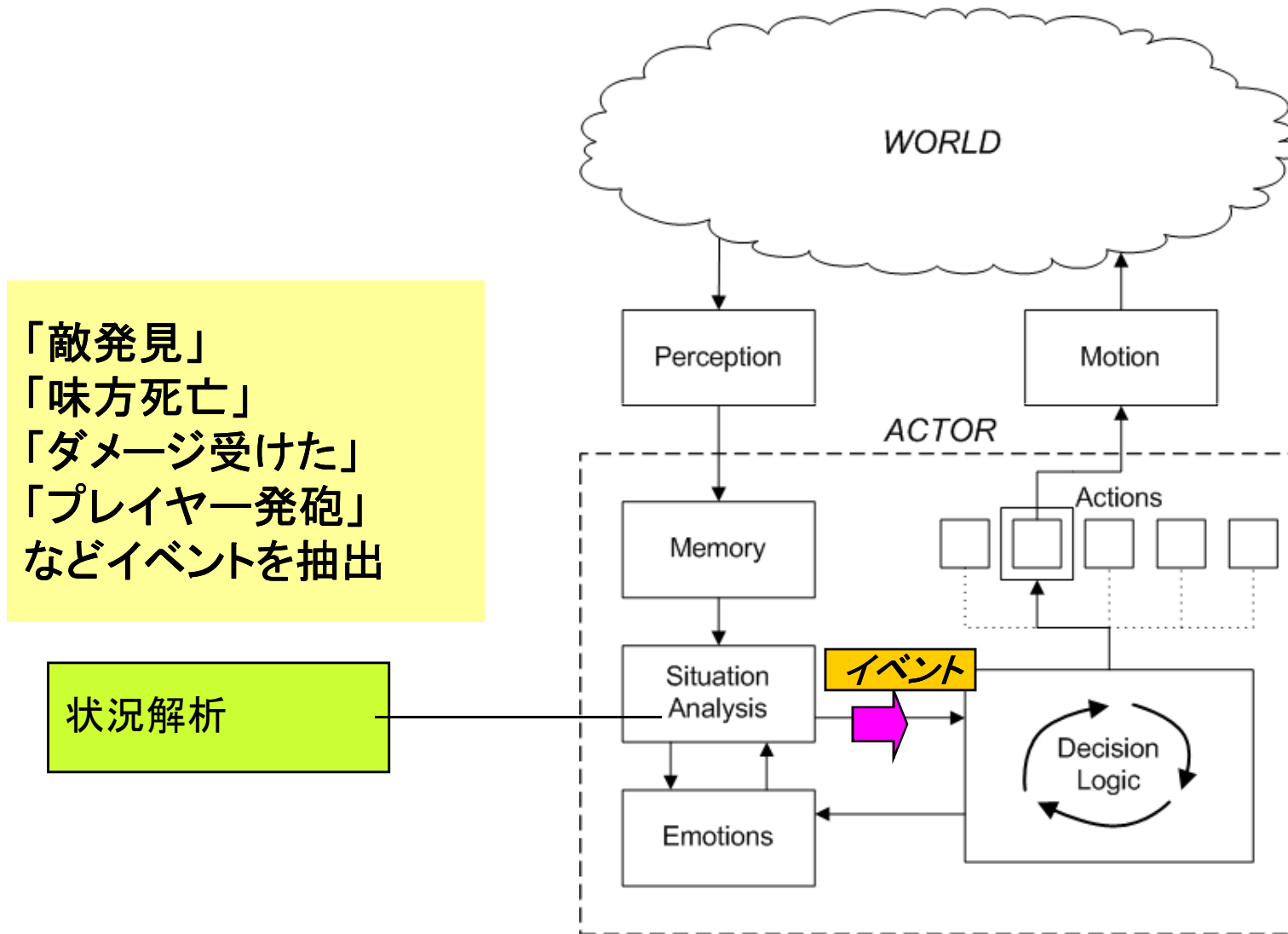


人間

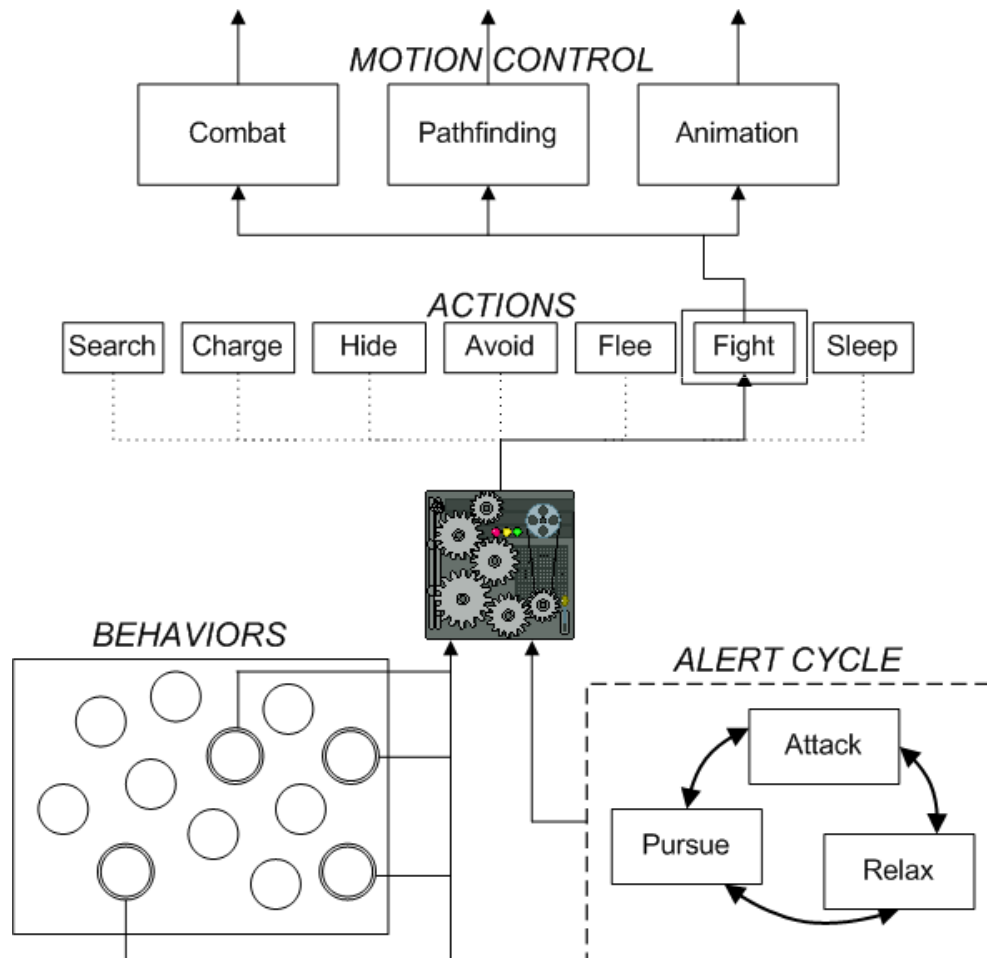
普通の人間。

味方

Halo AI のアーキテクチャー

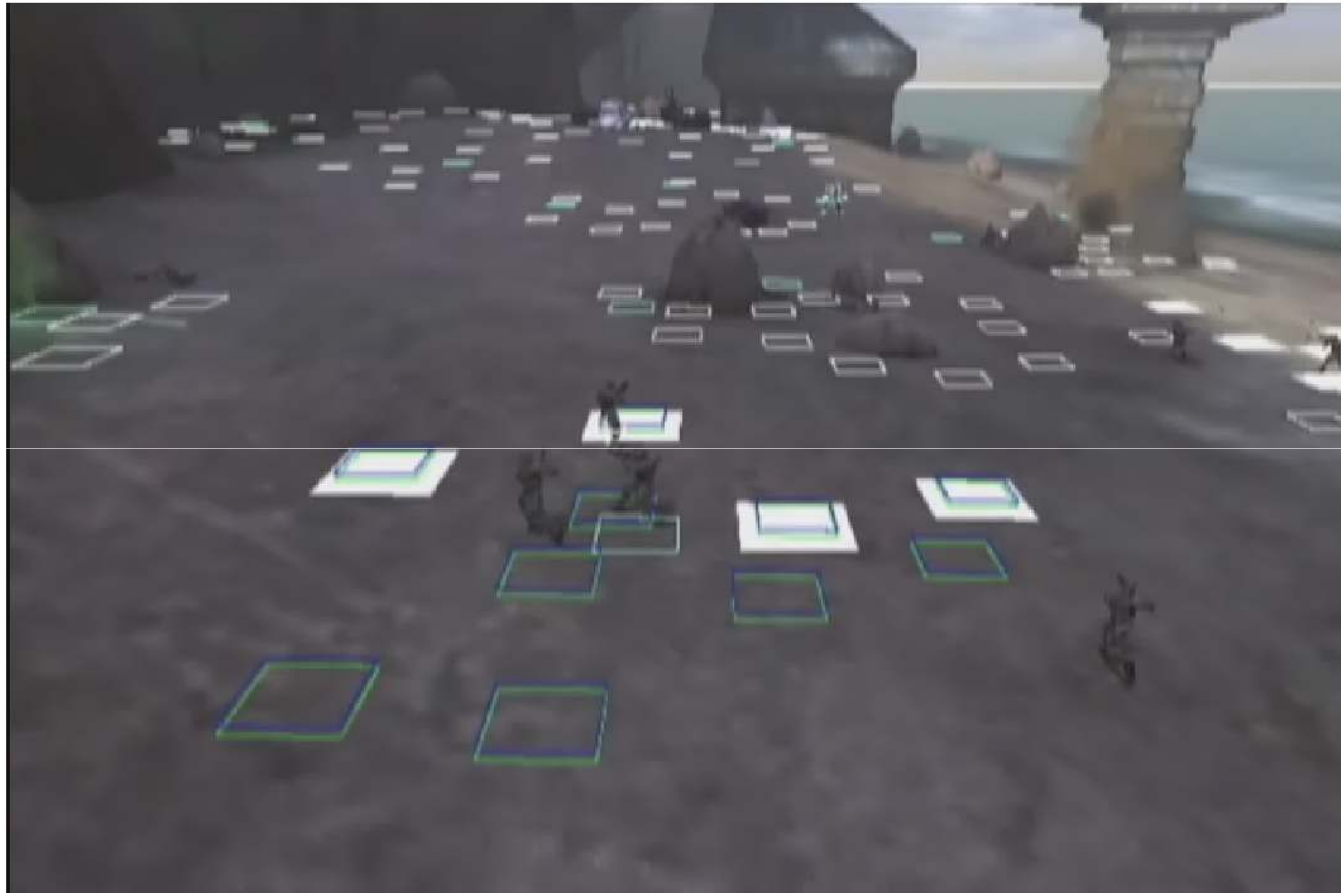


意志決定ロジック



- 敵はアラートを発する
 - 固有のコンバット・サイクル
- ビヘイビアは刺激によってアクティベートされる
 - チャージ, 前進, 探索
 - グレネードを投げる, 車に乗る, 死体を確認する
- 各種族はブラックボックスのアクション・セレクションを持つ
 - グラントは突進しやすい
 - エリートは傷つくと隠れる
 - ジャッカルはシールドを使う

デモ



<http://www.bungie.net/inside/publications.aspx>

Reference for Halo & Halo2

- Damian Isla (2005), “Dude, where’s my Warthog? From Pathfinding to General Spatial Competence”,
<http://www.aiide.org/aiide2005/talks/isla.ppt>
http://nikon.bungie.org/misc/aiide_2005_pathfinding/index.html
- Damian Isla (2005), Handling Complexity in the Halo 2 AI, Game Developer's Conference Proceedings.,
http://www.gamasutra.com/gdc2005/features/20050311/isla_01.shtml
- Jaime Griesemer(2002),The Illusion of Intelligence: The Integration of AI and Level Design in Halo,
<http://halo.bungie.org/misc/gdc.2002.haloai/talk.html>
- Robert Valdes(2004), “In the Mind of the Enemy The Artificial Intelligence of Halo2”,
<http://www.stuffo.com/halo2-ai.htm> (現在はclosed)

Figures on following pages are from these references.

F.E.A.R



内容:閉鎖空間の中のホラーFPS

開発元: Monolith Production

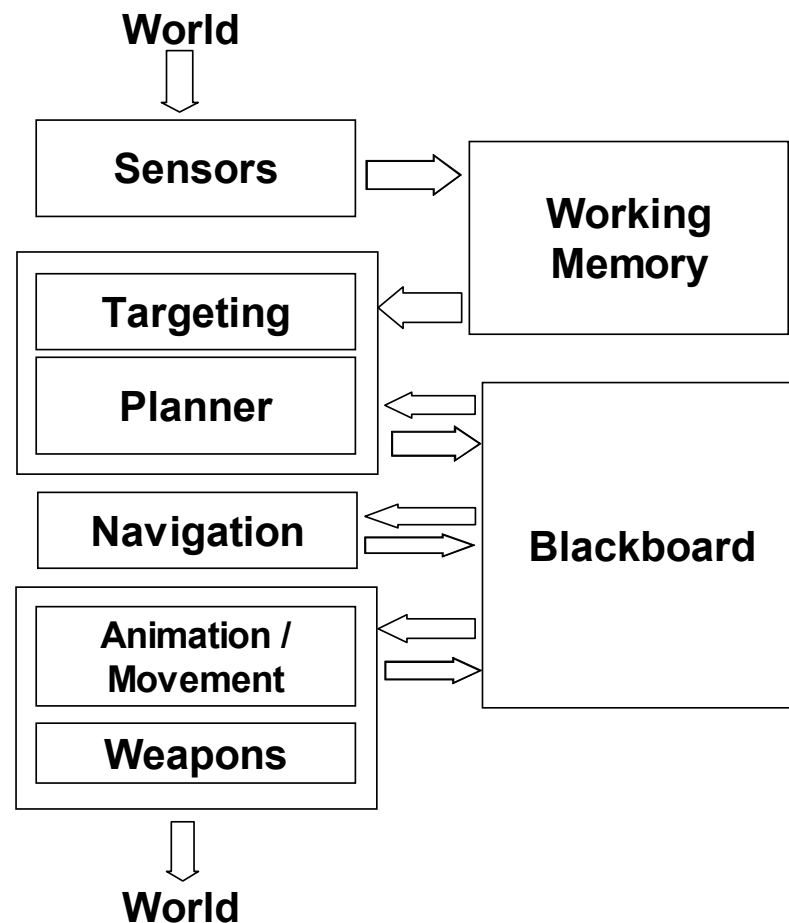
出版: SIERRA

Hardware: Windows, PS3

出版年: 2004年

FPSとホラーを、映画的な演出によって結びつけたエポックメイキングな名作。
長年発展させて来たAI技術の本領が発揮され、開発者、プレイヤーから高い支持を集める。

F.E.A.R. におけるエージェント・アーキテクチャ



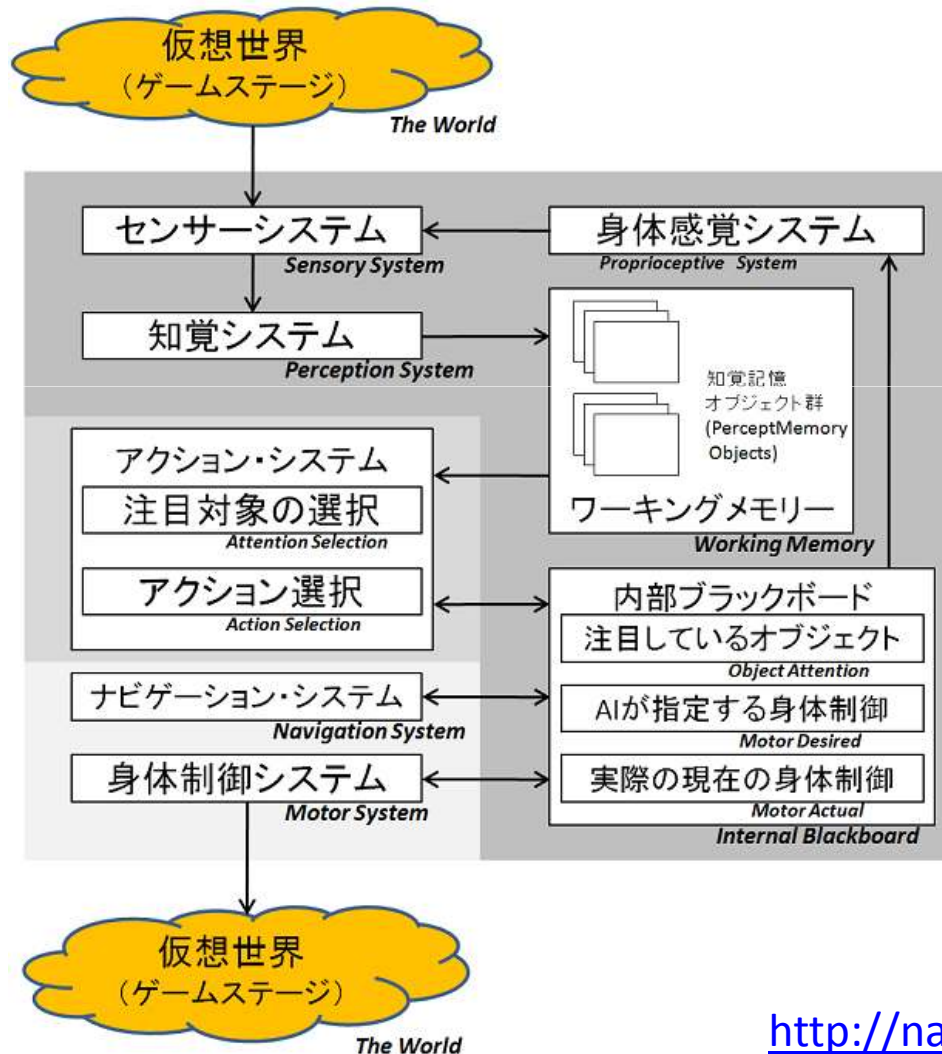
Agent Architecture Considerations for Real-Time Planning in Games (AIIDE 2005)

http://web.media.mit.edu/~jorkin/AIIDE05_Orkin_Planning.ppt

キャラクターAIの内部モデルとしてのブラックボード・アーキテクチャ

C4 アーキテクチャ

(MIT メディアラボ Synthetic Creature Group, 2000)



<http://naimadgames.com/publications.html>

構造から分解へ

CERA-CRANIUM ARCHITECTURE

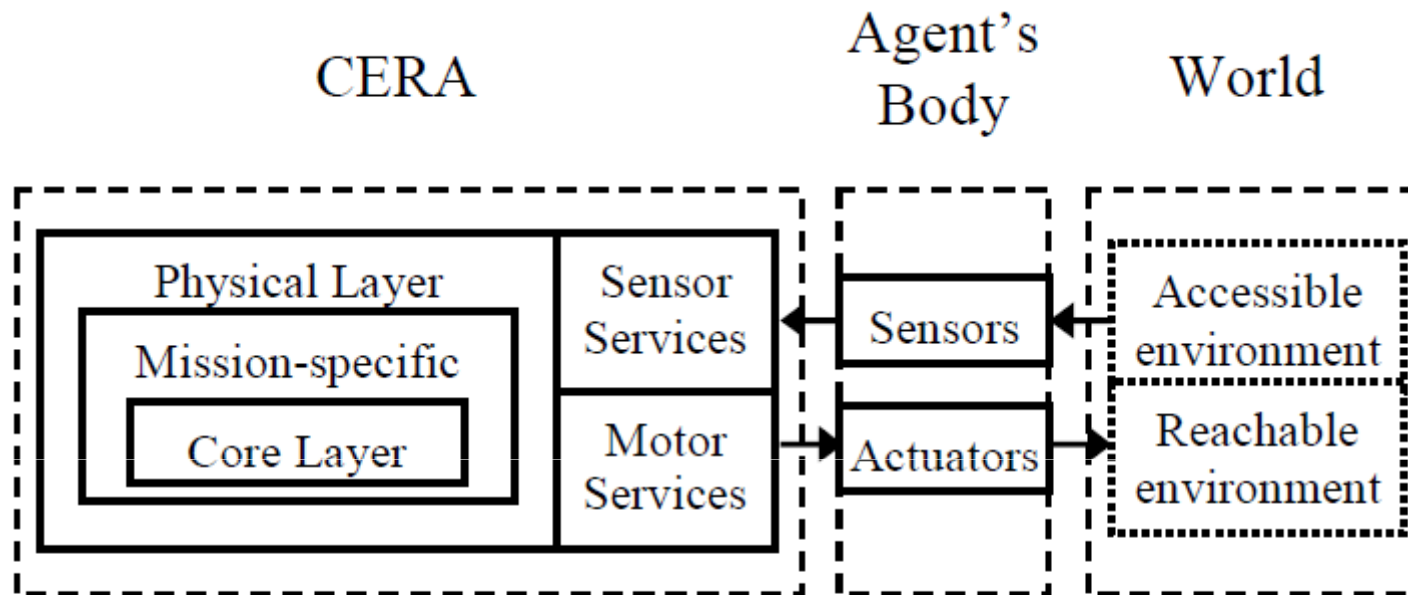


Fig. 3. CERA Cognitive Architecture. The layered design involves a subsumption relation: higher layers process more abstract content than lower layers. Sensor and motor services are enclosed in the so-called sensory-motor services layer, which is agent dependent.

Arrabales, R. Ledezma, A. and Sanchis, A. "Towards Conscious-like Behavior in Computer Game Characters", in Proceedings of the *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games 2009 (CIG-2009)* pp. 217-224. ISBN 978-1-4244-4815-9.

<http://www.conscious-robots.com/raul/publications.html>

<http://www.conscious-robots.com/raul/machine-consciousness/34-machine-consciousness-research/67-cera-cranium.html>

CERA-CRANIUM ARCHITECTURE

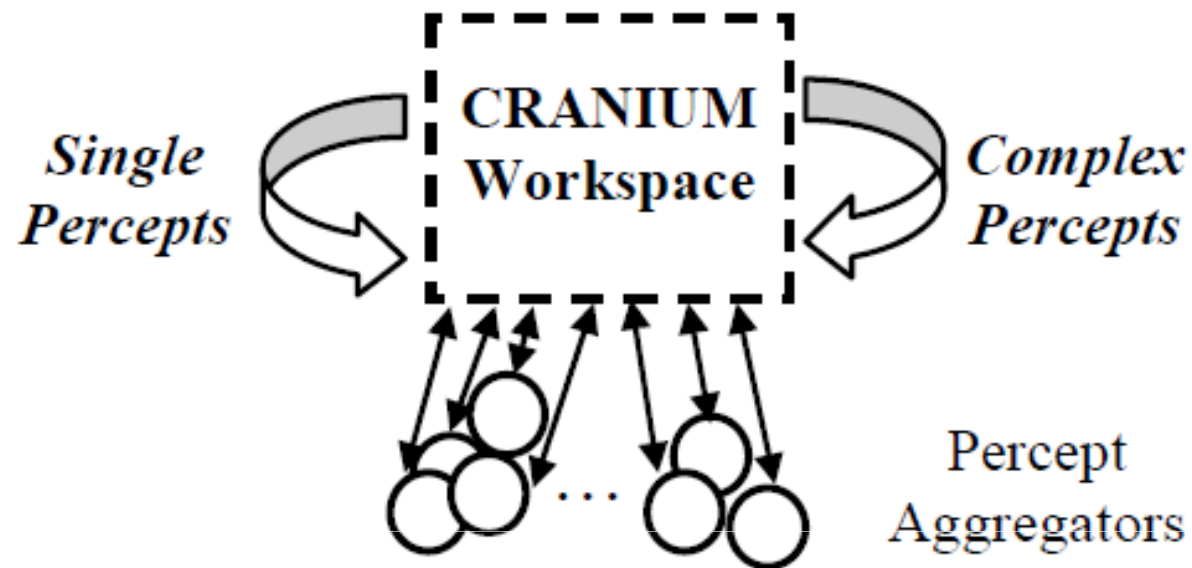


Fig. 4. CERA physical layer workspace. Percept aggregators are special cases of specialized processors that are able to build new complex percepts using other complex percepts and/or single percepts as input. See [27] for a description of other types of processors.

Arrabales, R. Ledezma, A. and Sanchis, A. "Towards Conscious-like Behavior in Computer Game Characters", in Proceedings of the *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games 2009 (CIG-2009)* pp. 217-224. ISBN 978-1-4244-4815-9.

CERA-CRANIUM ARCHITECTURE

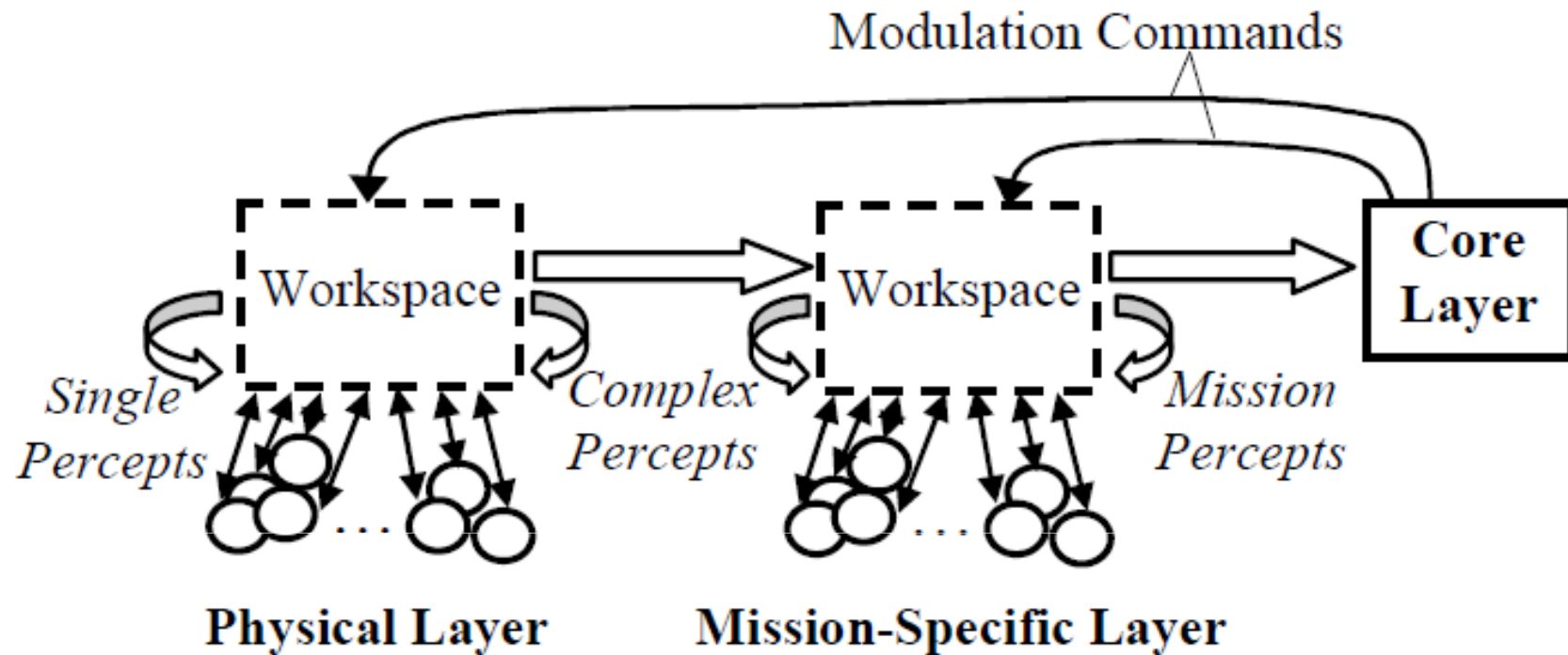
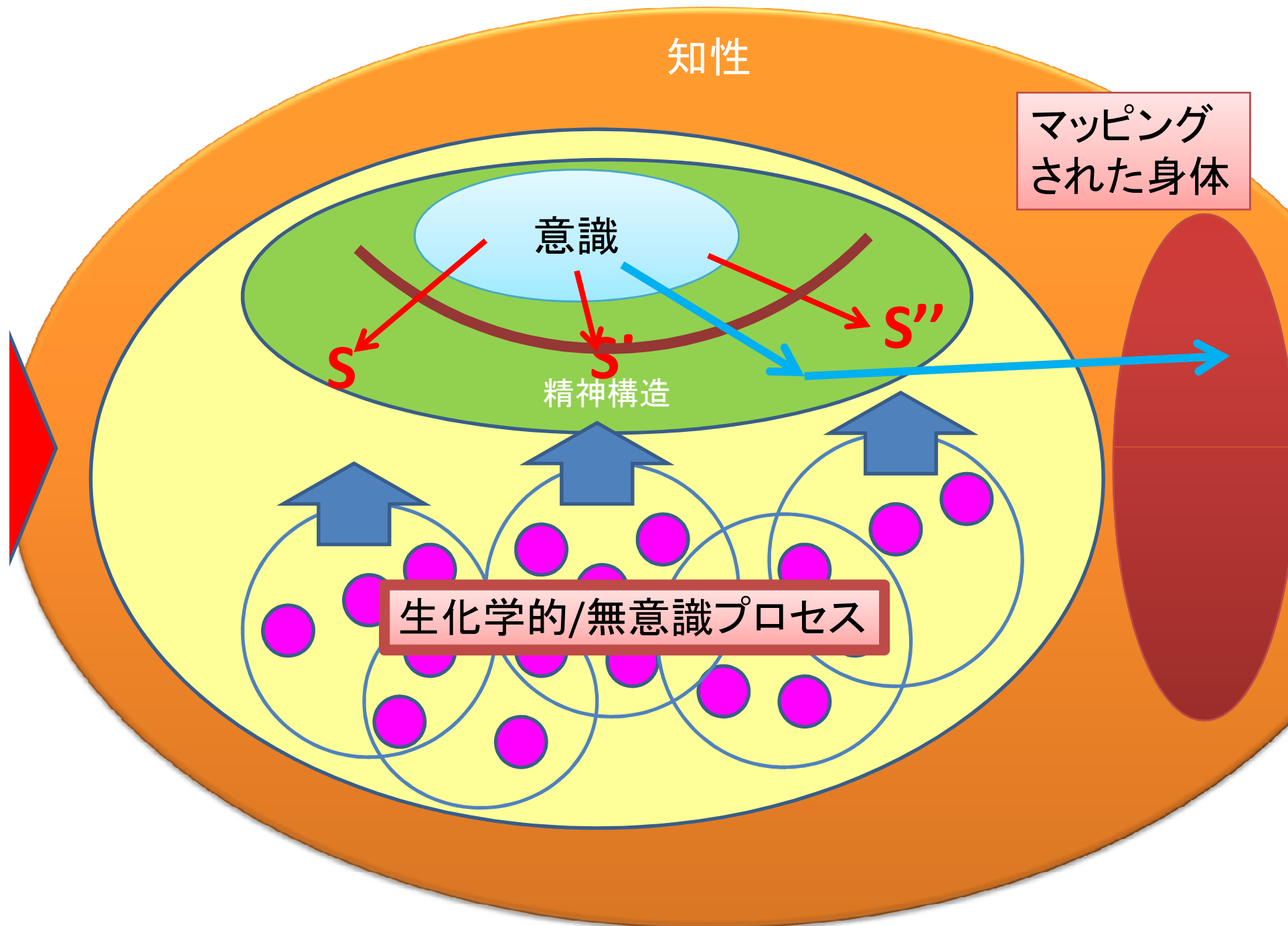
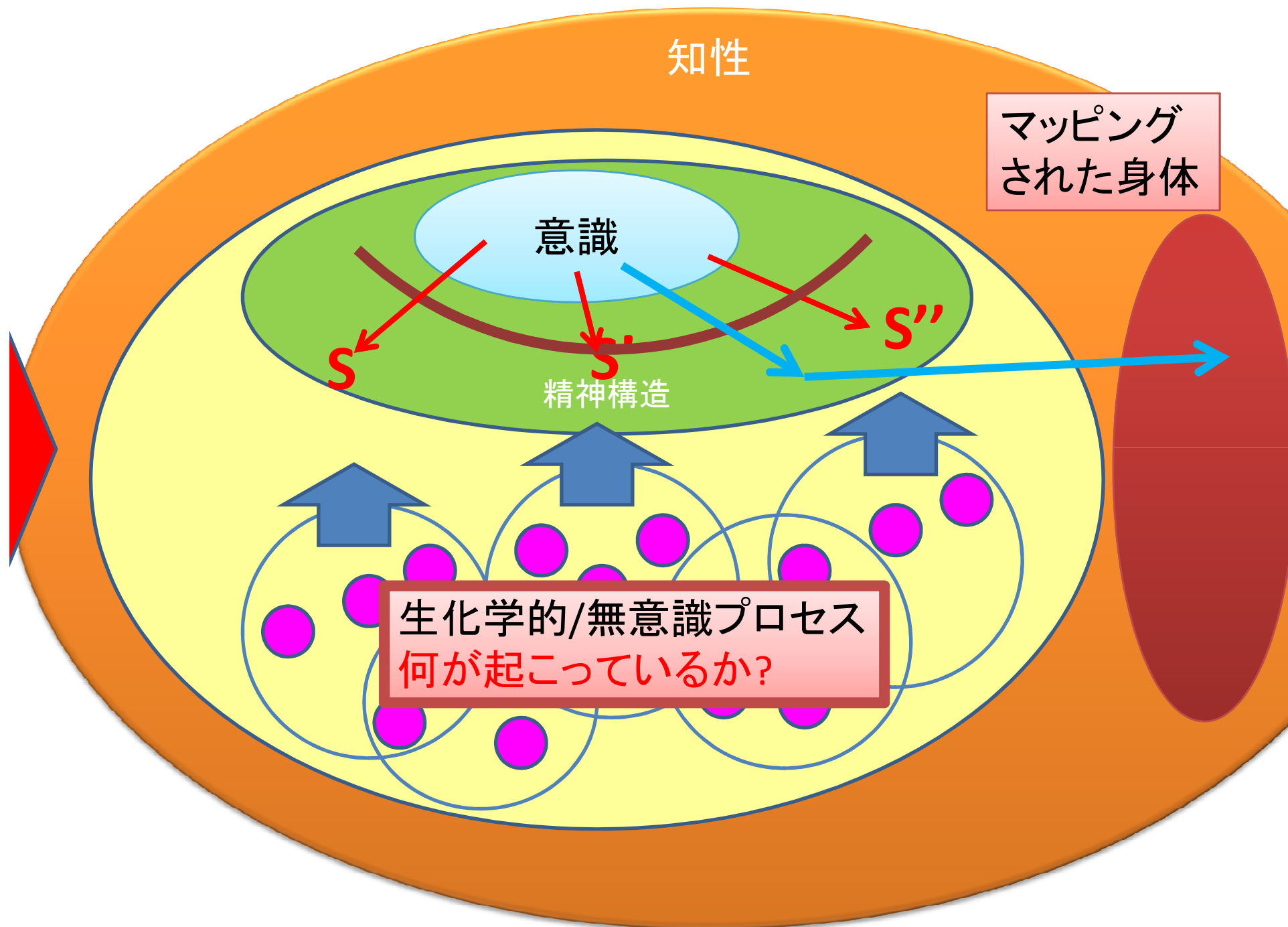
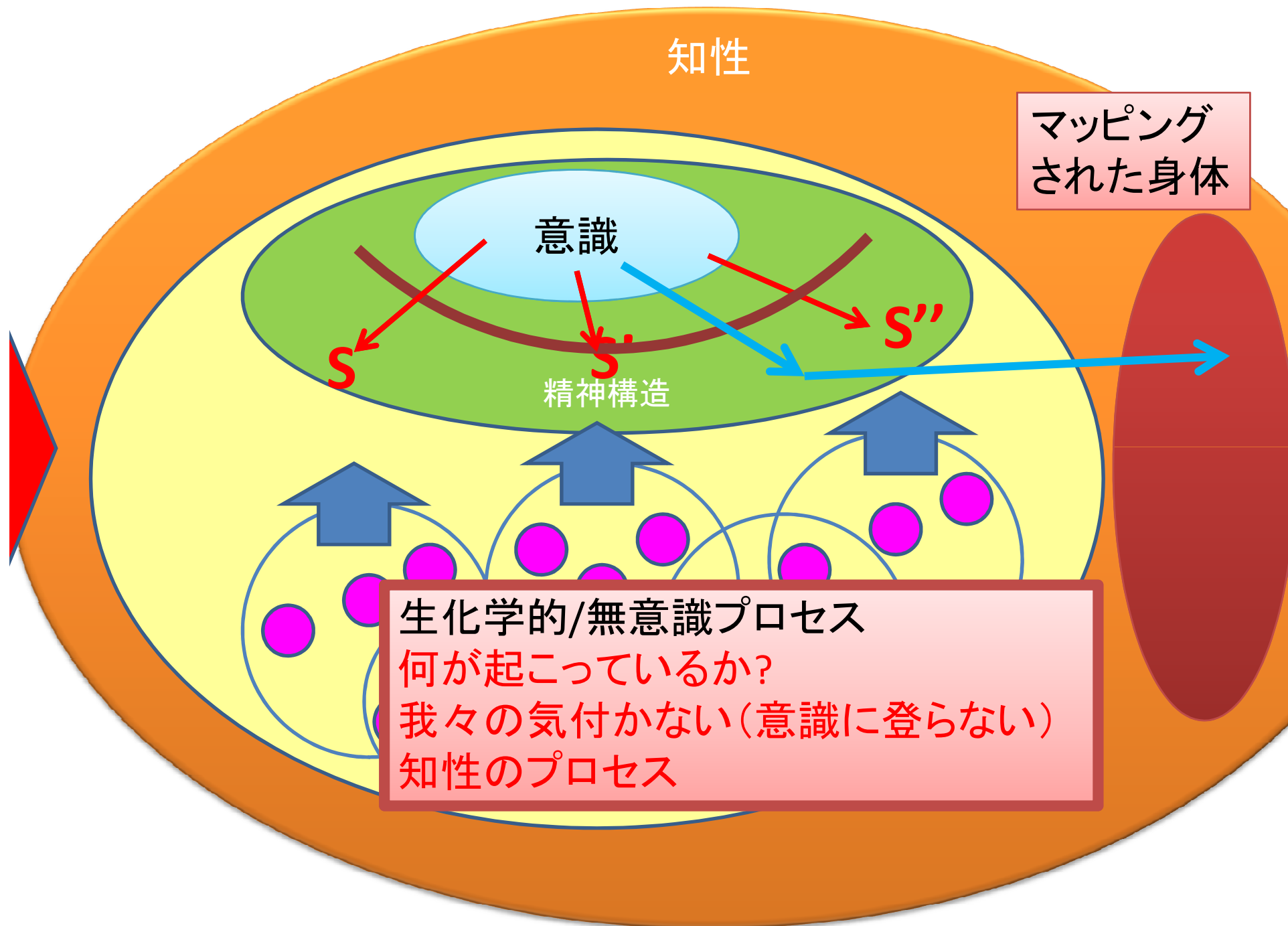


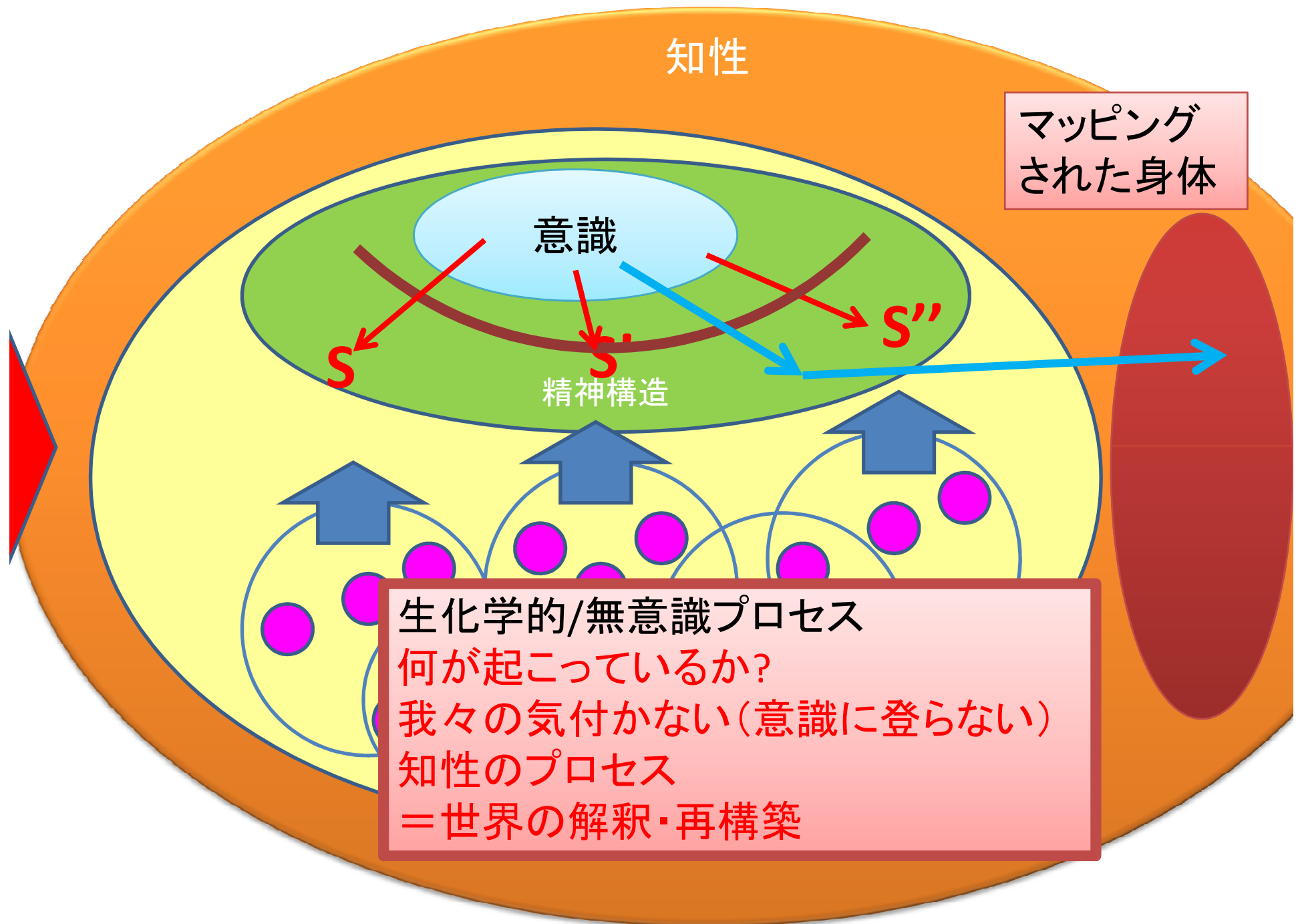
Fig. 5. Workspace modulation mechanism. The level of activation of specialized processors and the generated percepts is updated based on modulation commands sent from the core layer. Activation values determine which percepts are generated, which in turn affects the modulation commands triggered by the core layer.

Arrabales, R. Ledezma, A. and Sanchis, A. "Towards Conscious-like Behavior in Computer Game Characters", in Proceedings of the *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games 2009 (CIG-2009)* pp. 217-224. ISBN 978-1-4244-4815-9.









知性

意識

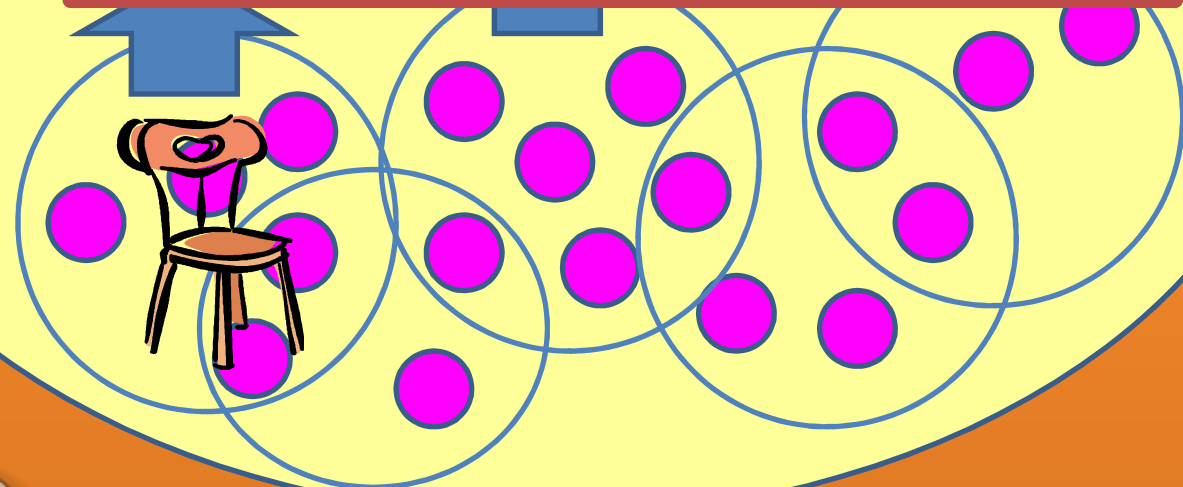
S

S'

S''

精神構造

意識は常に何かについての意識である。



知性

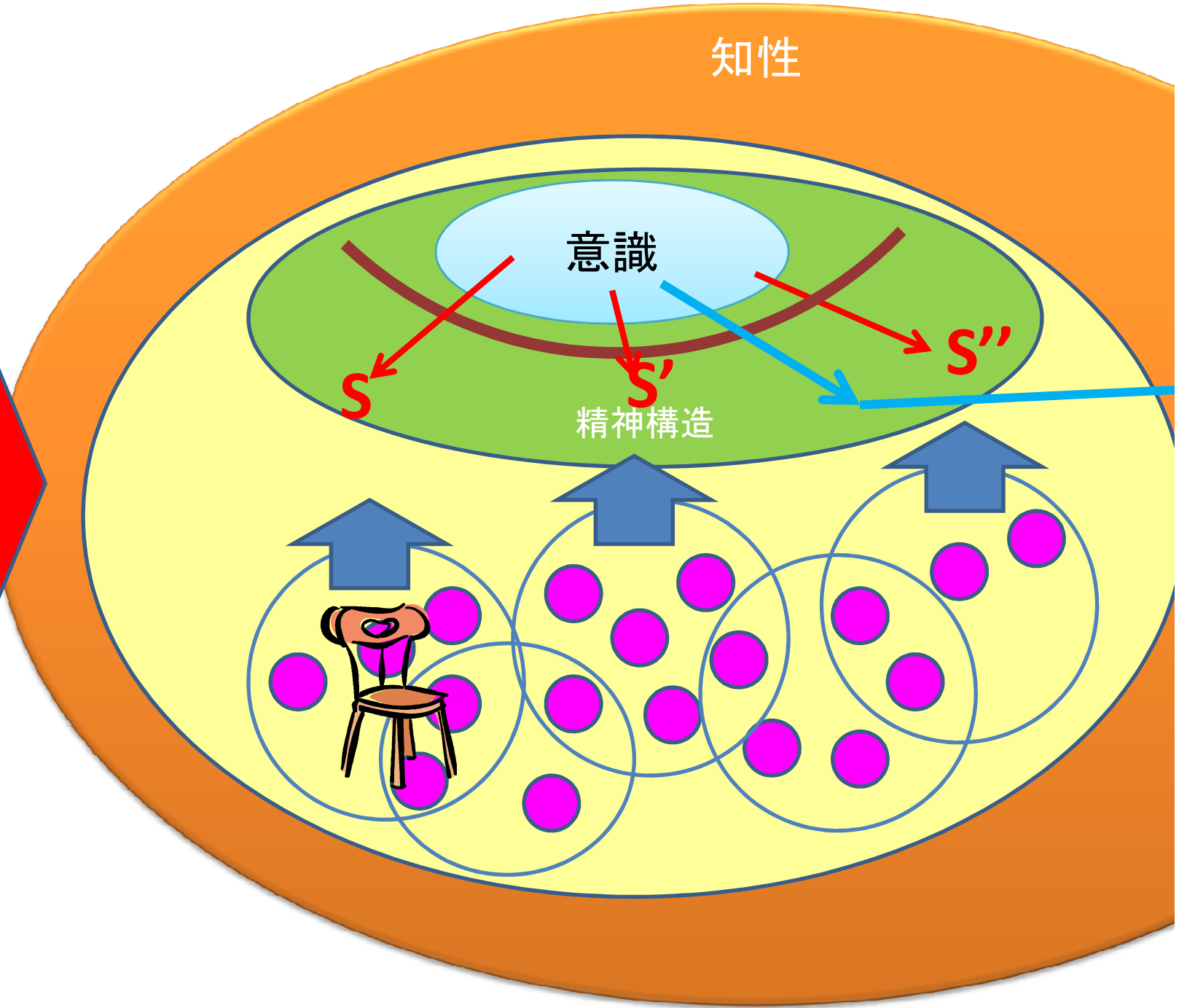
意識

精神構造

S

S'

S''



知性

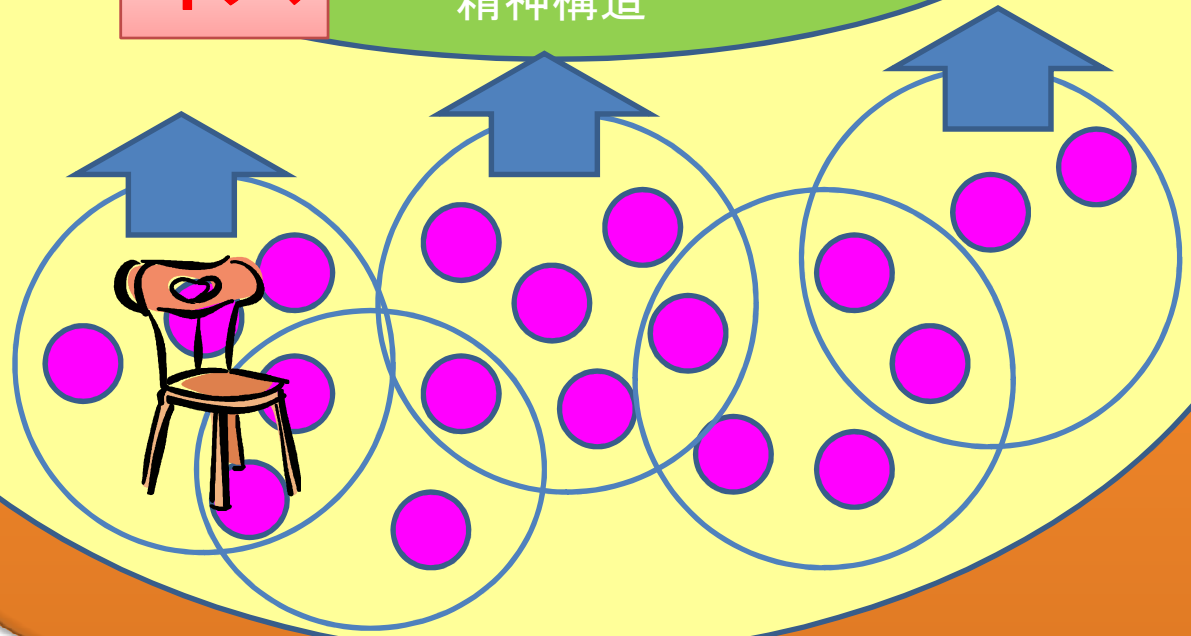
意識

イス

精神構造

S''

S'

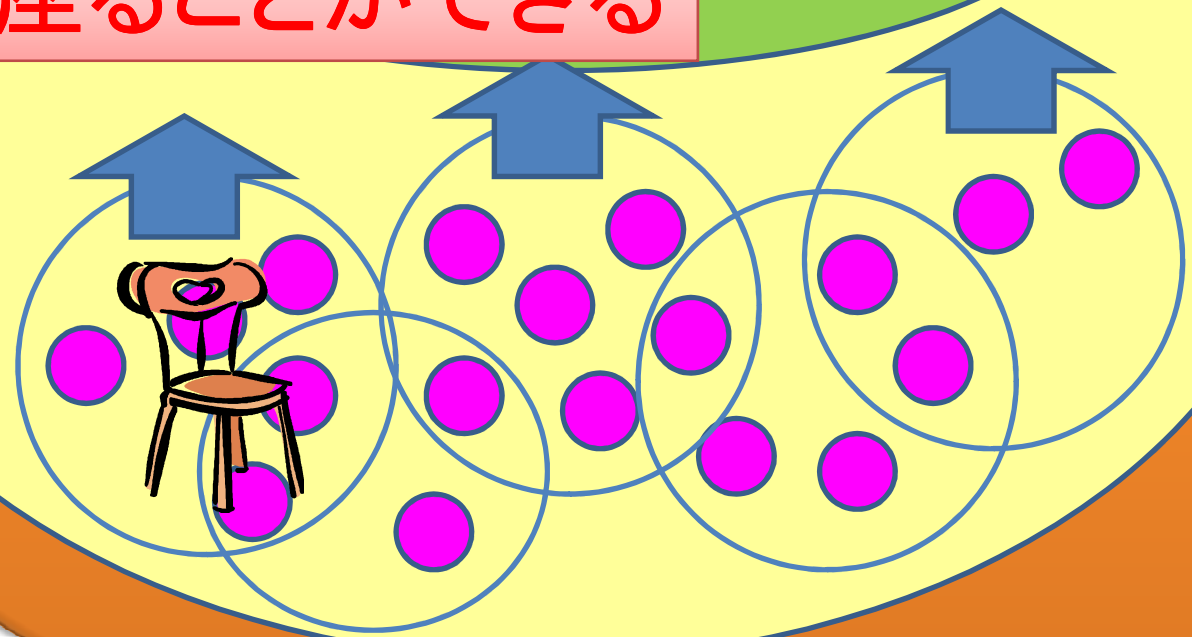


知性

意識

S''

イス + 座ることができる



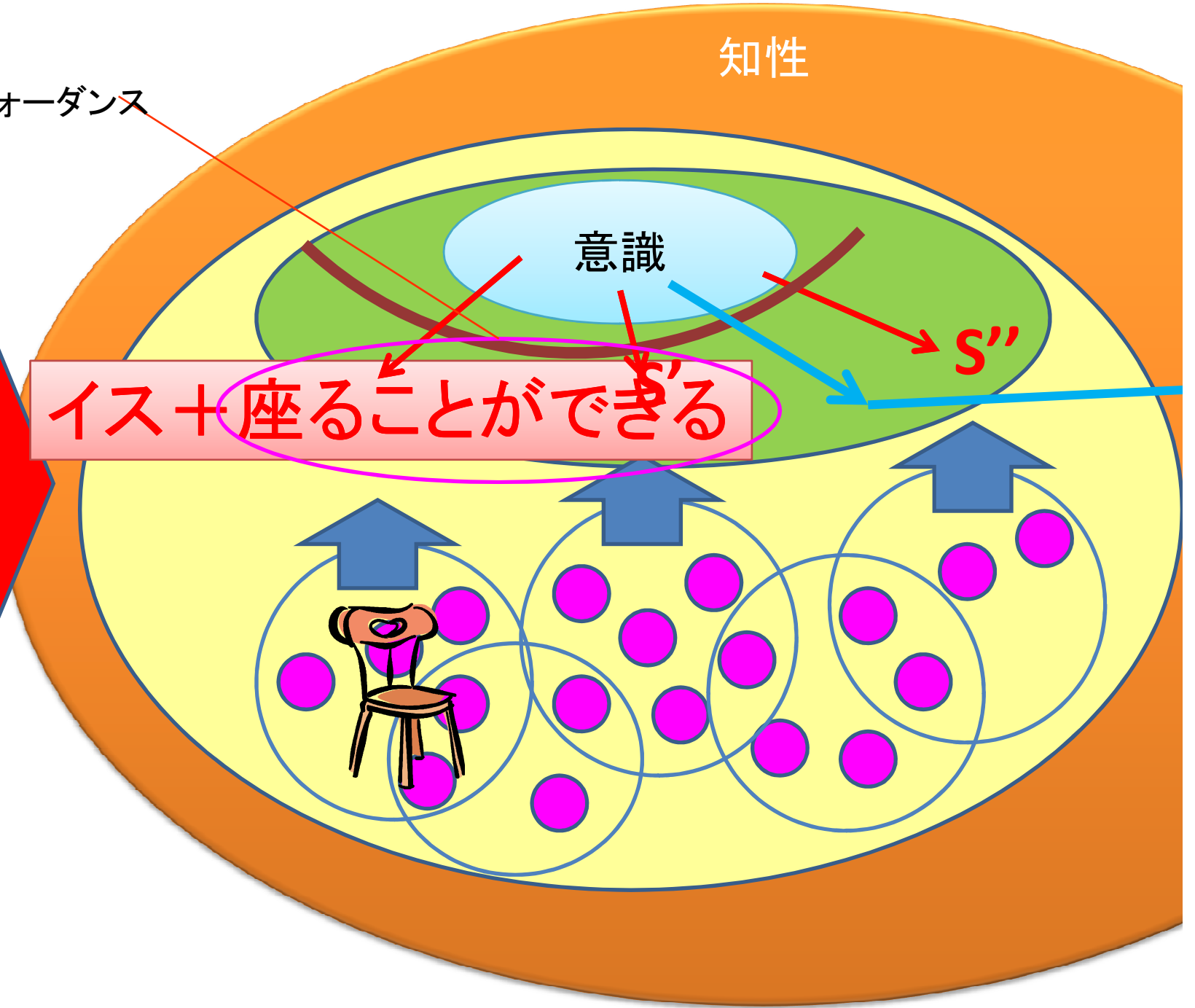
知性

アフォーダンス

意識

S''

イス + 座ることができる



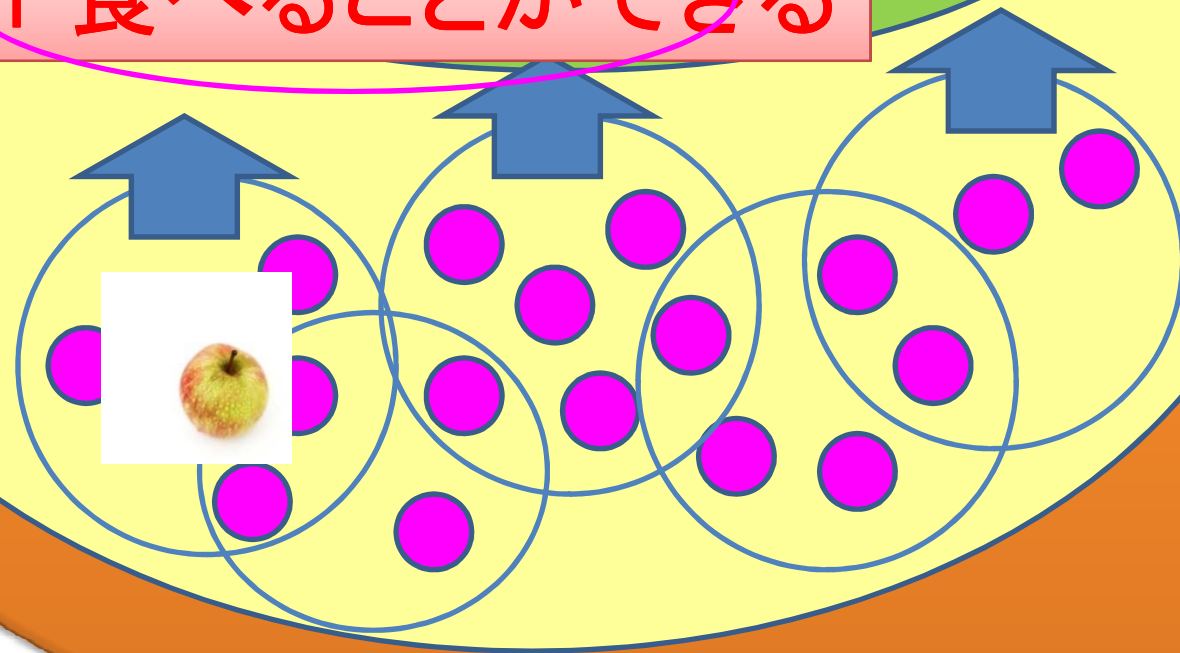
知性

アフォーダンス

意識

S''

リンゴ+食 ^{S'} べることができる



アフォーダンス

人間、及び動物の認識過程において、
情報の取得から生理的/無意識的(前意識的)な
プロセスにおいて、
認識対象に対して為し得る行動が解釈されている。

この行動をアフォーダンスという。

知性

アフォーダンス

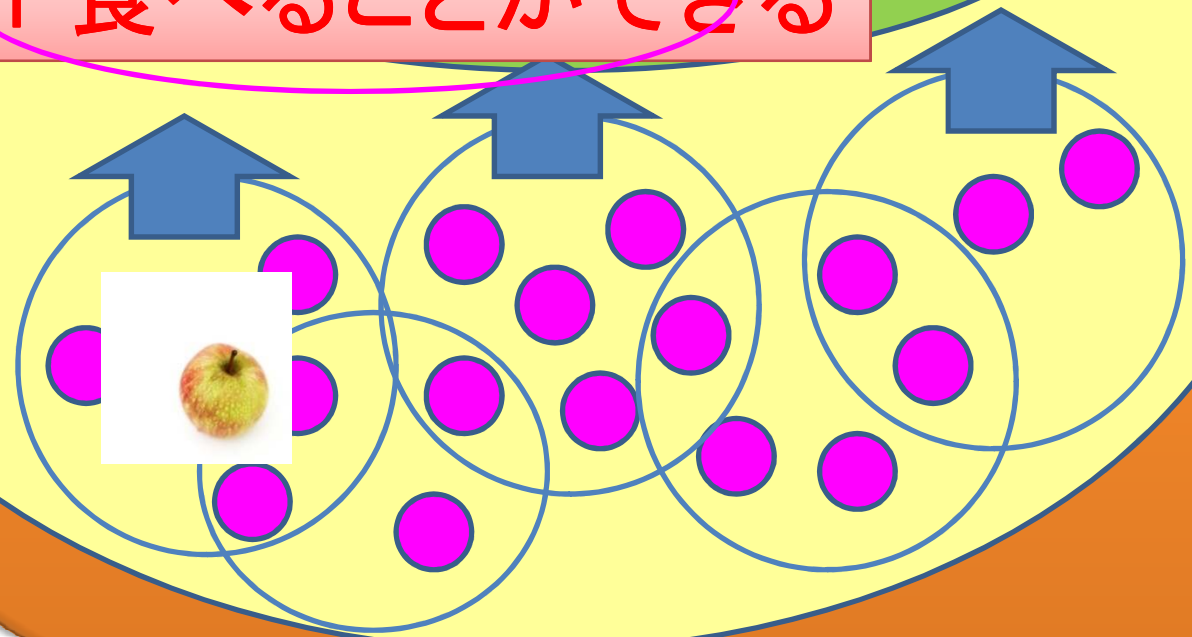
意識

S''

リンゴ+食 べることができる



ン



HALO におけるオブジェクト表現

Object Representation

How do we represent objects in a useful way to the AI?

How do psychologists think about this?

- Object-based vision
- Shape perception / categorization
 - Contours
 - Axes of symmetry
 - Convex parts
- Reaching / grasping
 - Tight loop between vision and prehension
 - Prehension != Recognition

Dynamic Object Representation

Three ways to see an object:

- Inherent properties
- Volume
- Spatial features

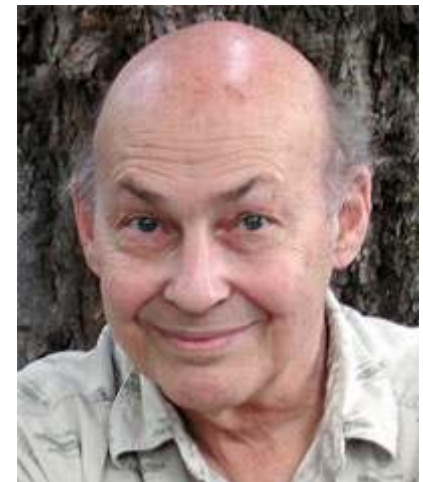


- Size
- Leap-speed
- Destructible
- Custom behavior X

(This is of course in addition to the usual render, collision and physics models)

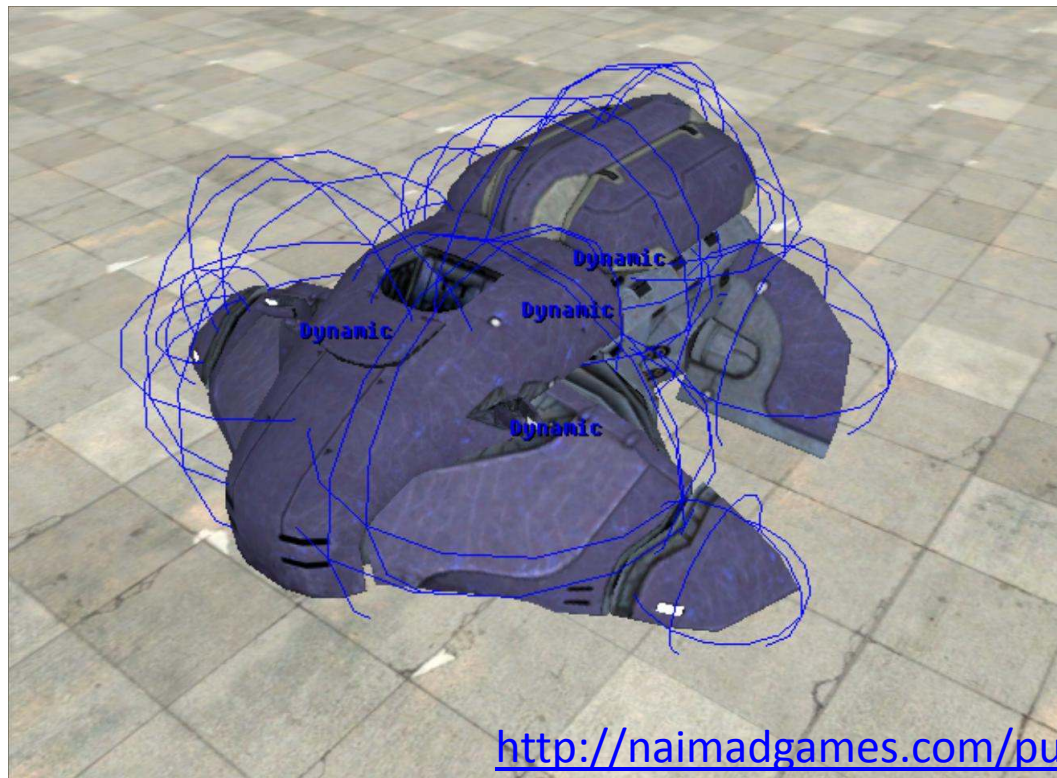
Remember Grandfather Minsky: multiple representations for the same thing, because different representations are useful for different kinds of problems

<http://naimadgames.com/publications.html>



Volume

- Rough approximation using *pathfinding spheres*
- Spheres projected to AI's ground-plane at pathfinding time (to become pathfinding *discs*)
- A perturbation of the smoothed path



<http://naimadgames.com/publications.html>

Spatial Object Features

Much like “Affordances” (Gibson, Norman, Wright)

- An object advertises the things that can be done with / to it
- But they must do so in a geometrically precise way in order to be useful



Implementation: “object markers”

- Rails or points
- Orientation vector indicates when the affordance is active
- An object has different properties at different orientations

Object Representation

Volume + Features = How the AI understands shape

Adding rich AI information becomes a fundamental part of the modeling of the object (just like authoring collision and physics models)

Used for

- Explicit behavior
 - Cornering (corner feature)
 - Mount-to-uncover (mount feature)
 - Destroy cover (destructible property)
- Pathfinding obstacle-traversal
 - Vault (vault feature)
 - Mount (mount feature)
 - Smash (size property)
 - Destroy obstacle (destructible property)

<http://naimadgames.com/publications.html>

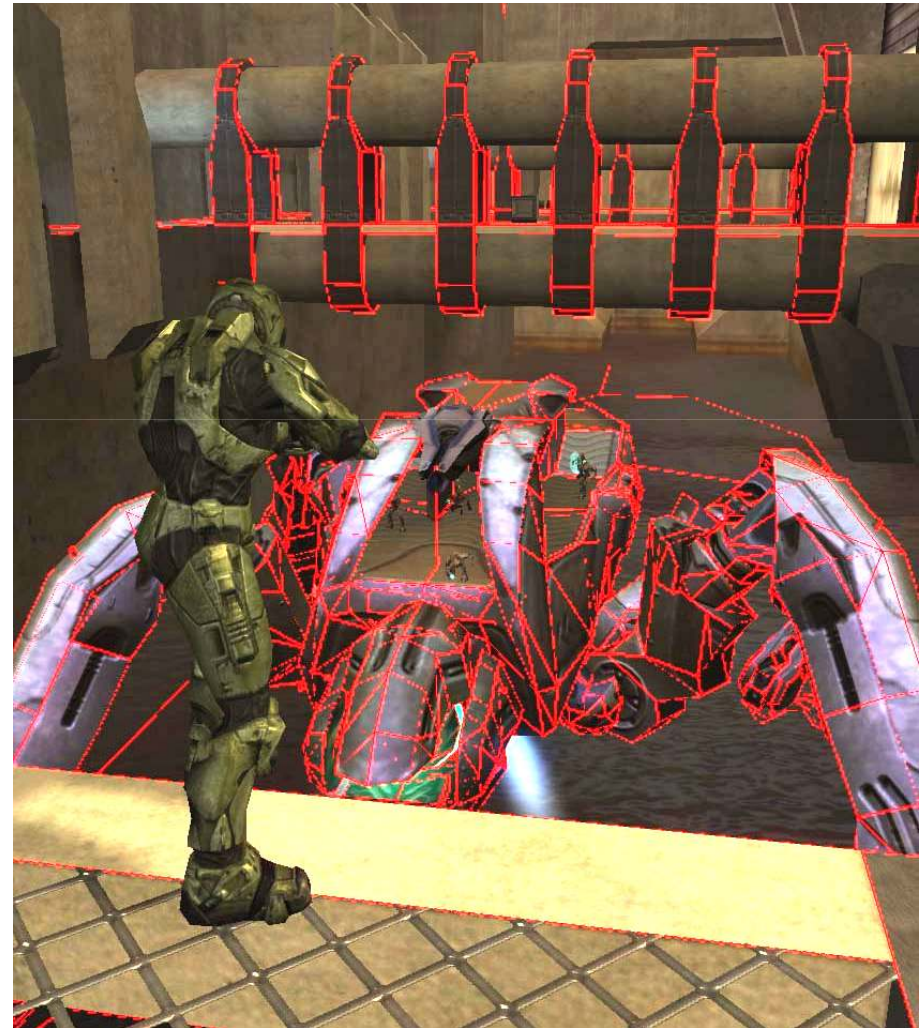
Reference Frames

Once we start using it one place, we have to use it everywhere!

- Sectors
- Firing-positions
- Scripting points
- Target locations
- Last-seen-location
- Burst targets
- Etc.

Results in a generalized
“understanding” of reference
frames

And like all good things AI, a lot of cool
stuff falls out more or less for free.



Reference Frames

Once we start using it one place, we have to use it everywhere!

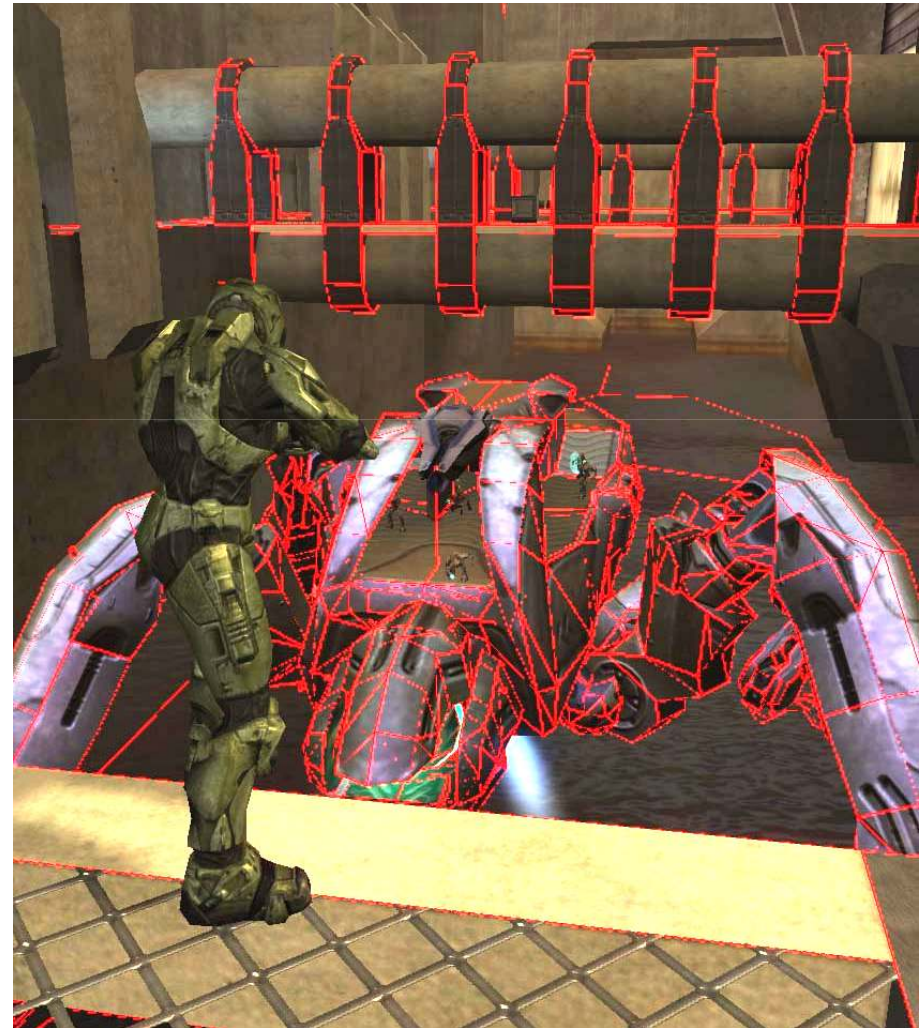
- Sectors
- Firing-positions
- Scripting points

世界を行動から解釈すること。

- Burst targets
- Etc.

Results in a generalized
“understanding” of reference
frames

And like all good things AI, a lot of cool
stuff falls out more or less for free.



デモ

カウンターストライク(ガラスを割る)

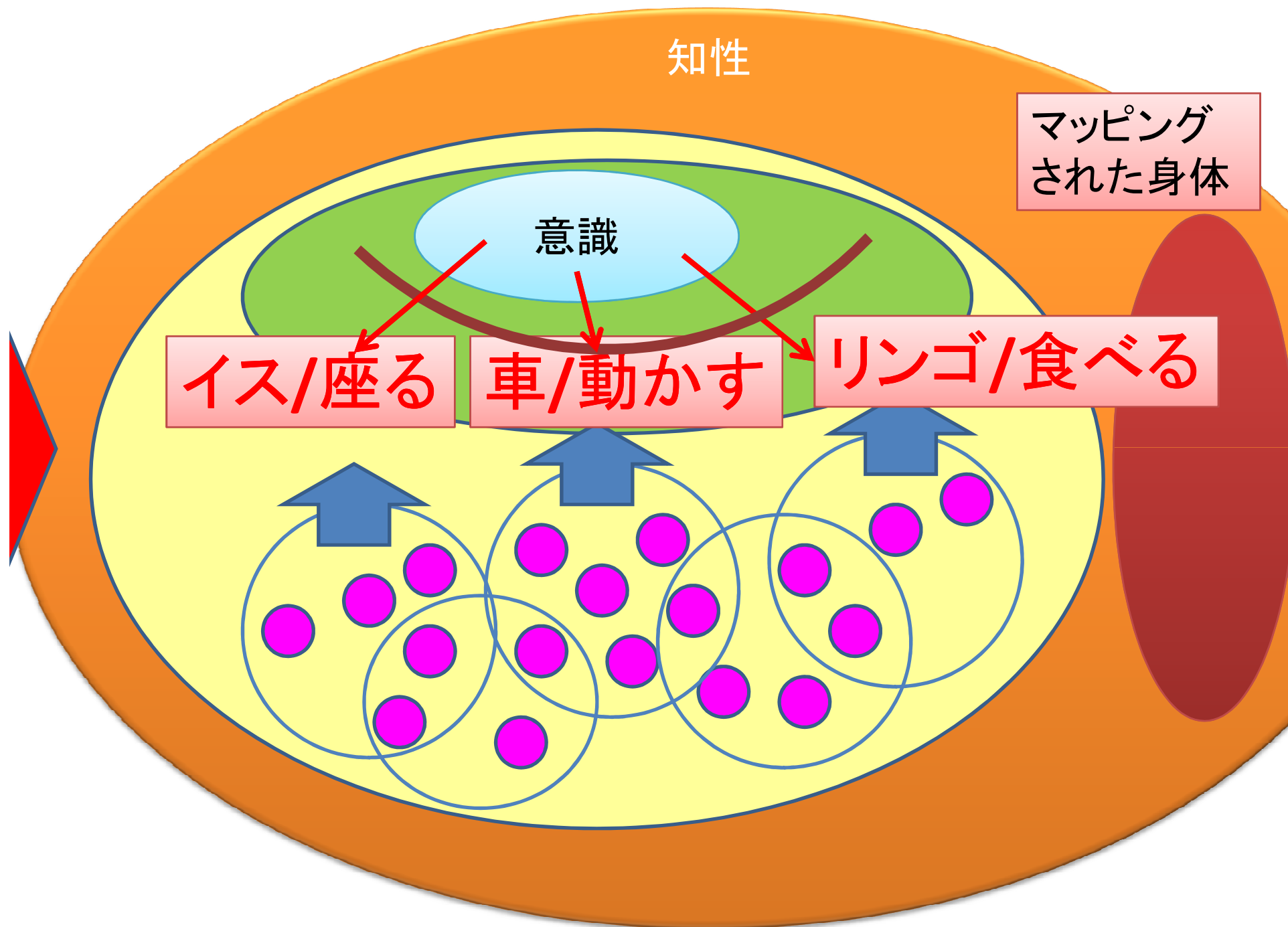
<http://aigamedev.com/insider/presentation/official-counter-strike-bot/>

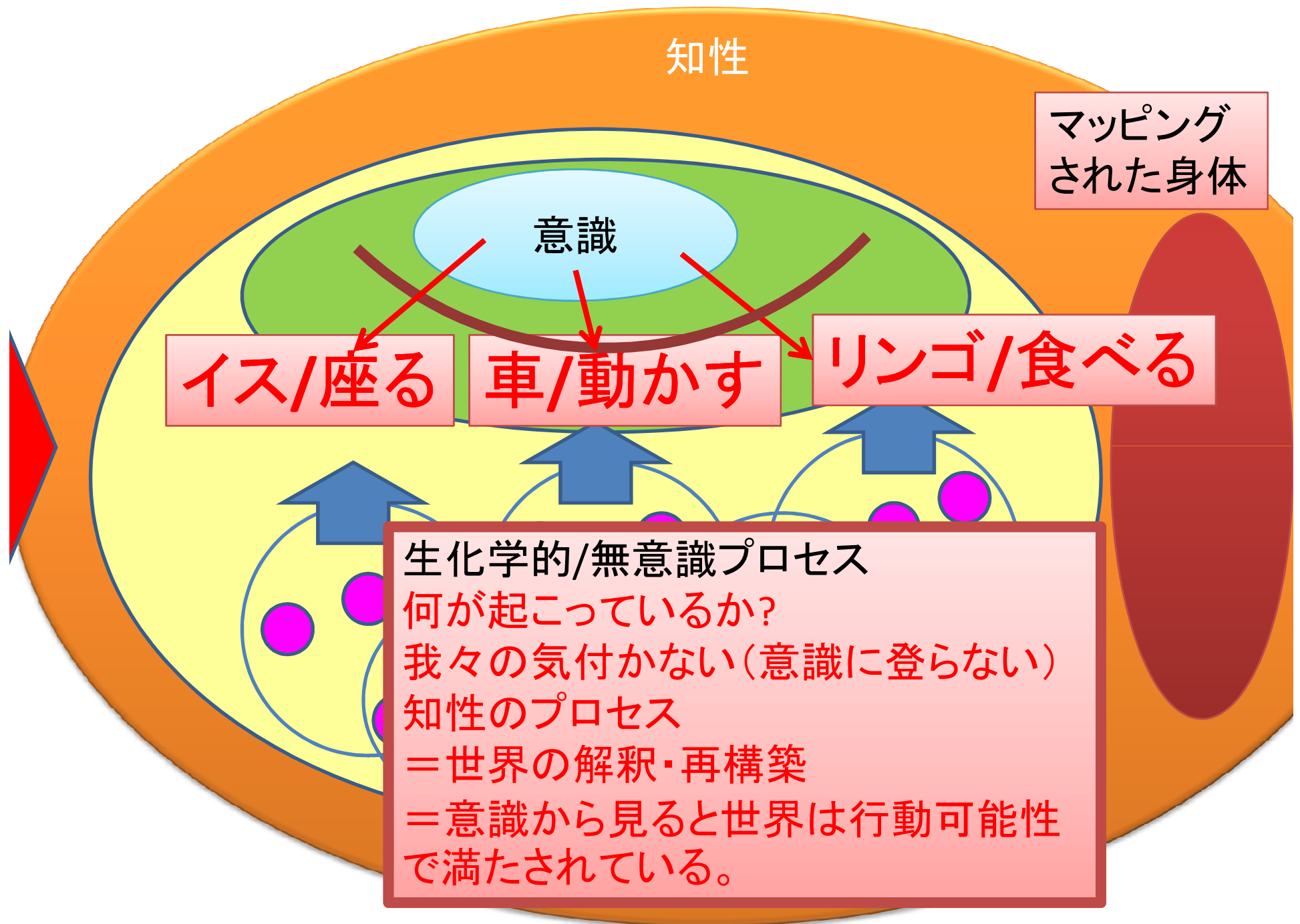
ぽかぽかアイルー村のAI

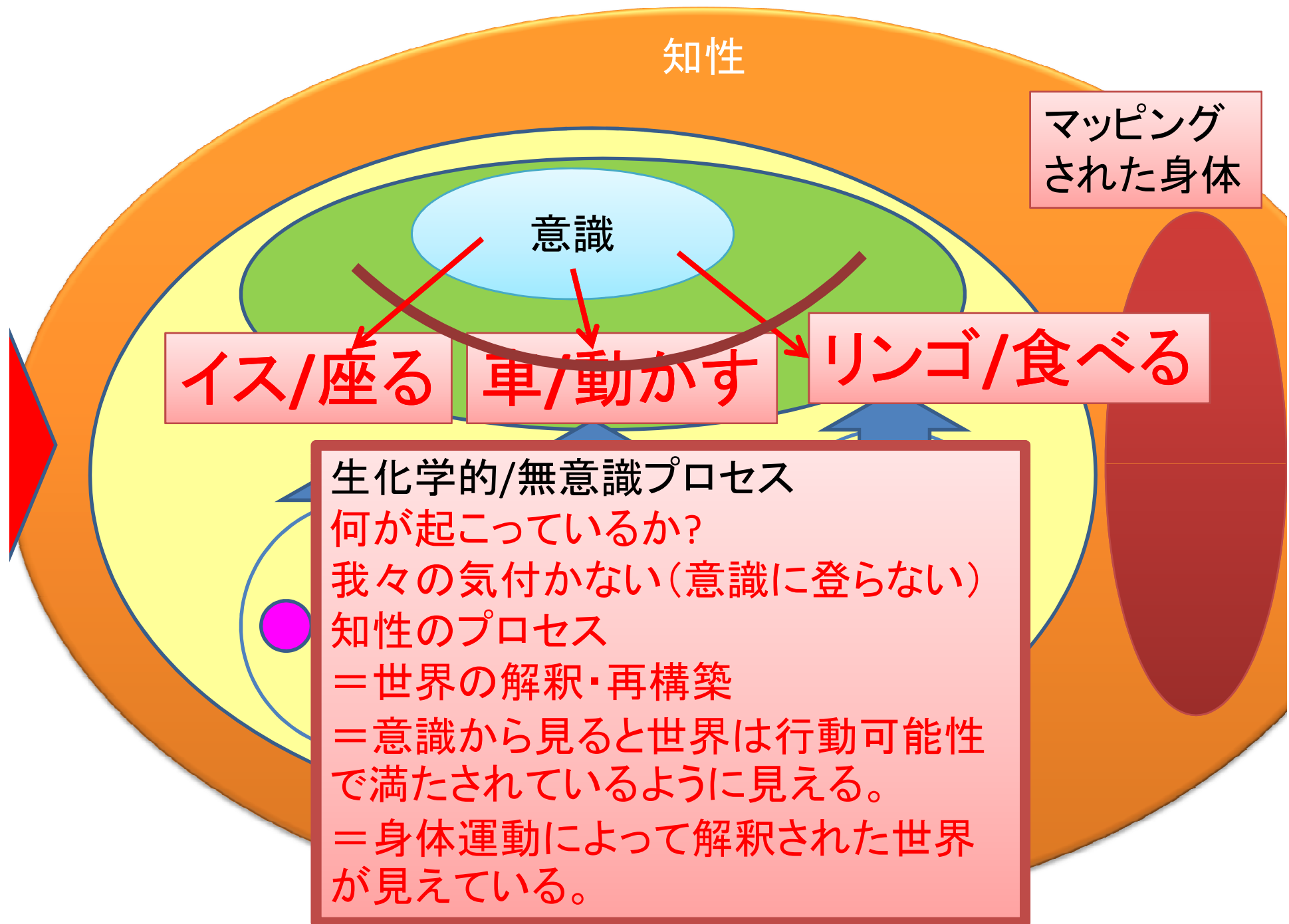
[記事]

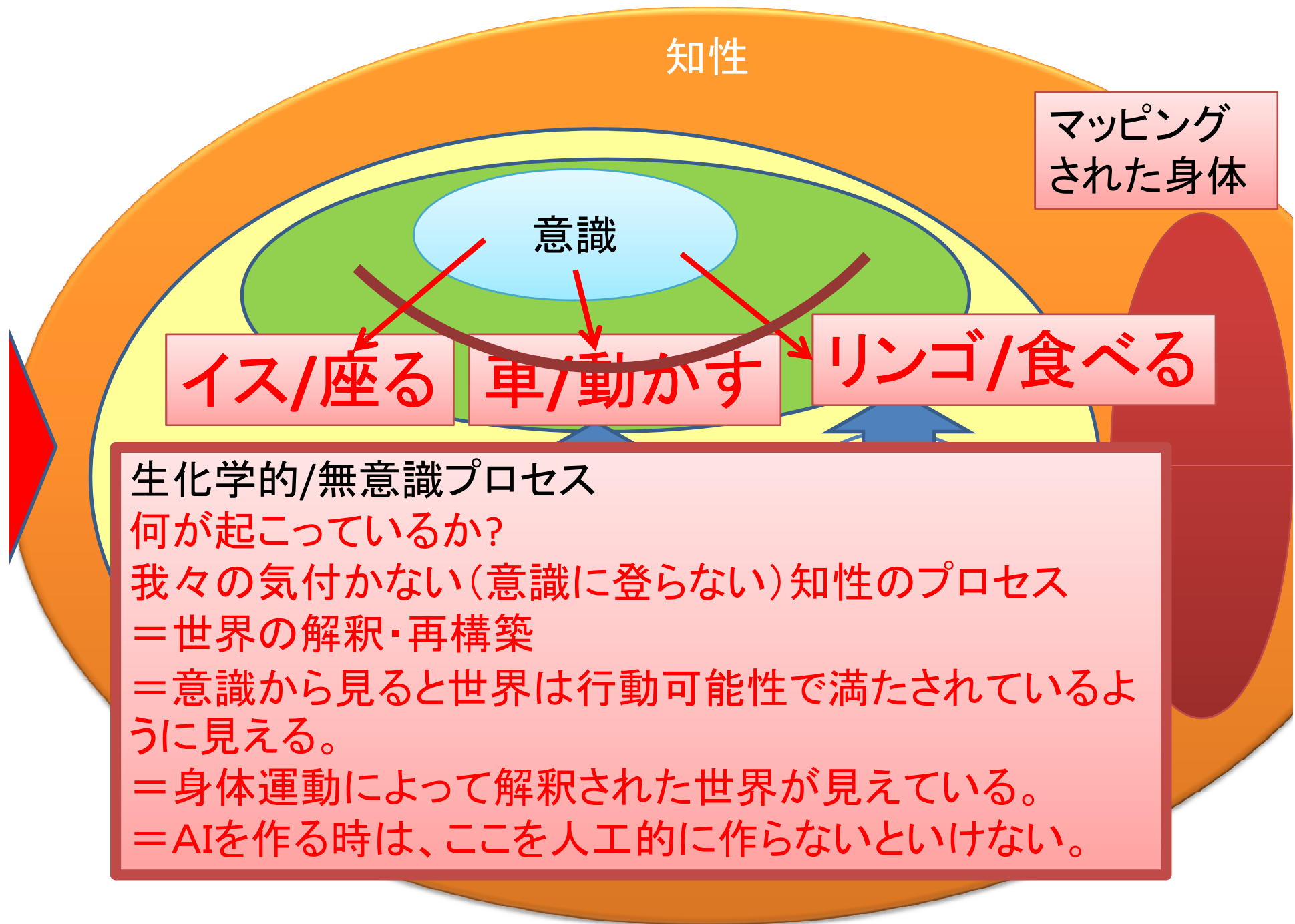
<http://www.4gamer.net/games/100/G010022/20110906085/>

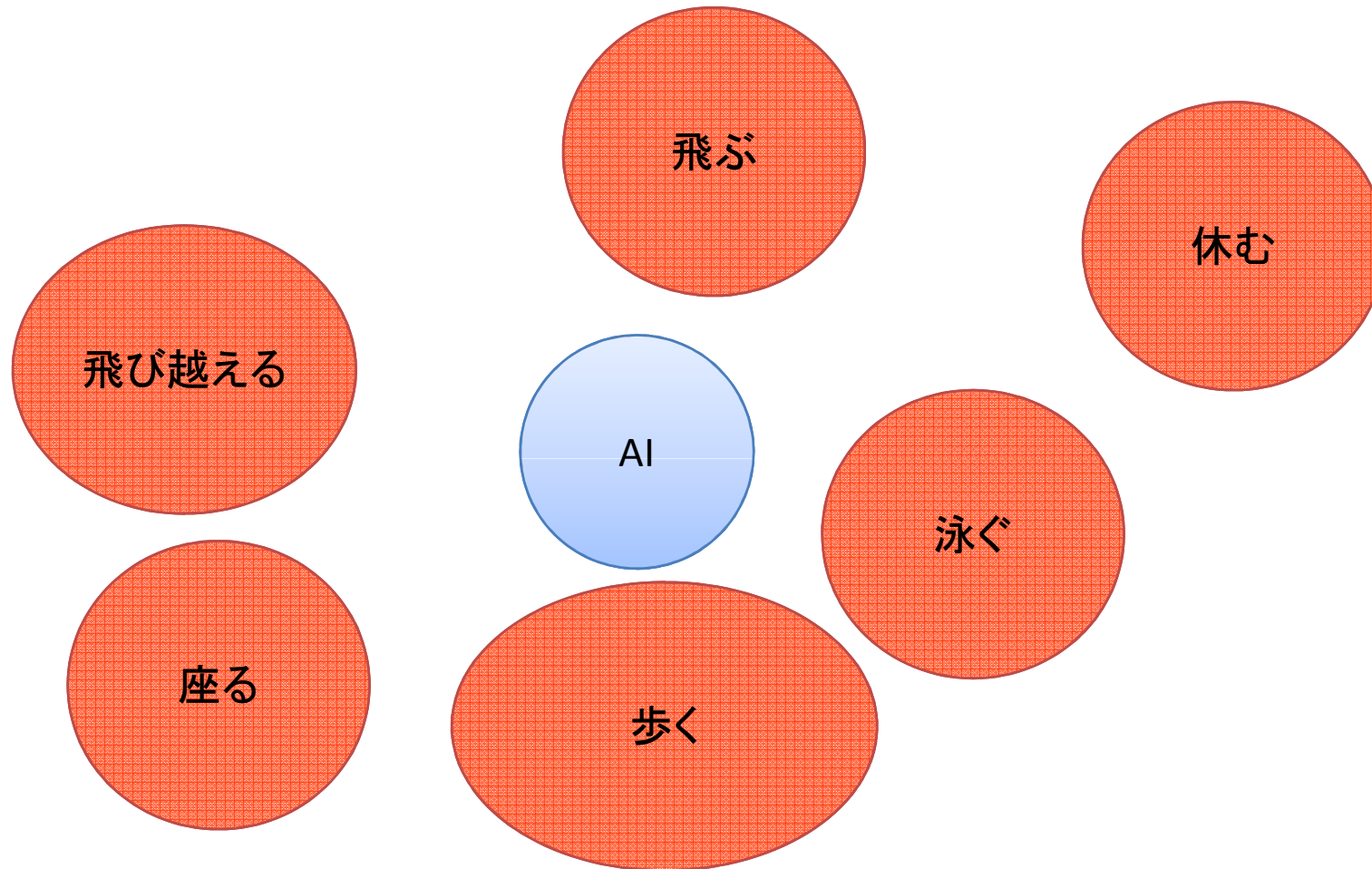
[資料] CEDiL <http://cedil.cesa.or.jp/search>

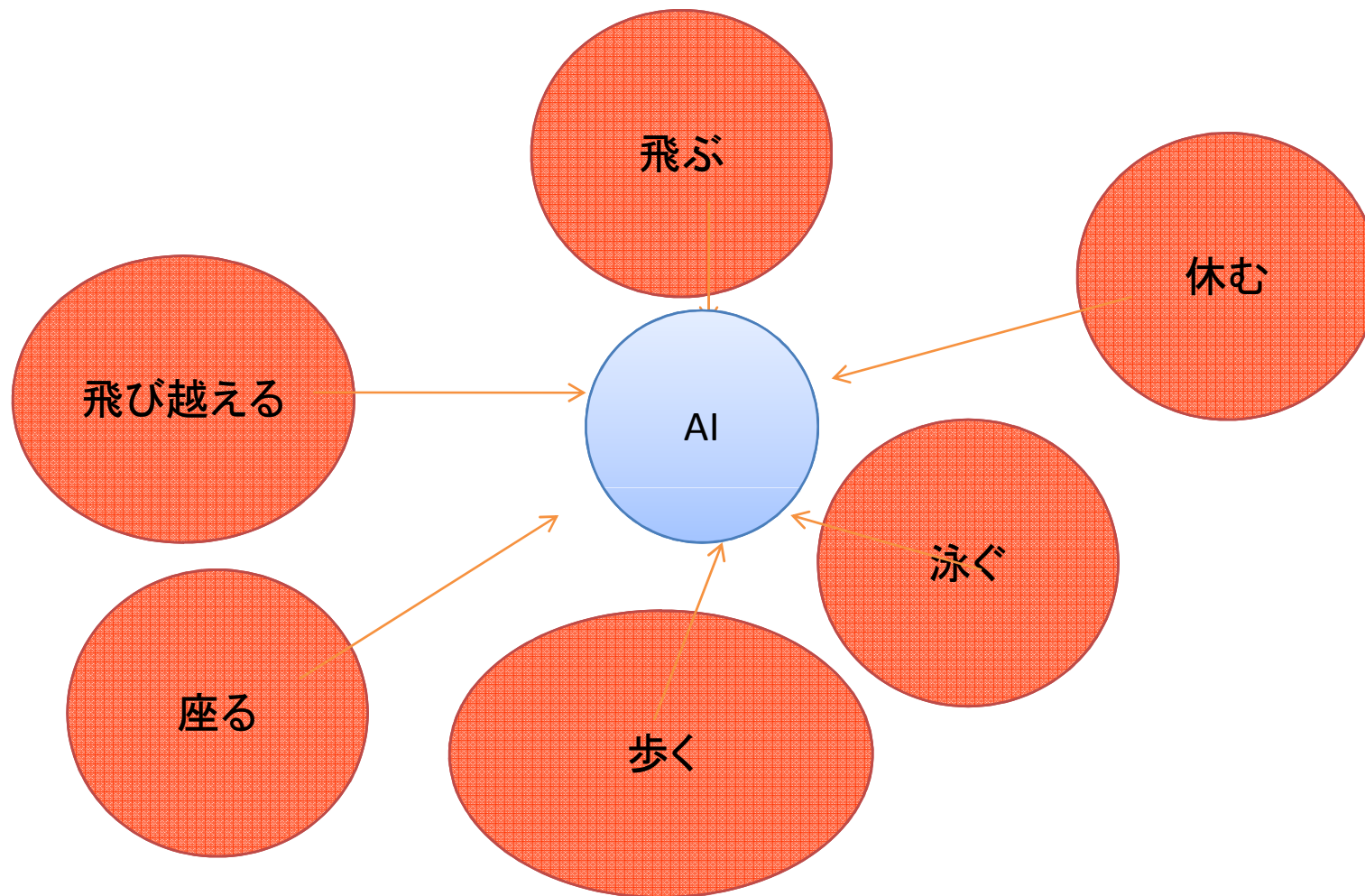


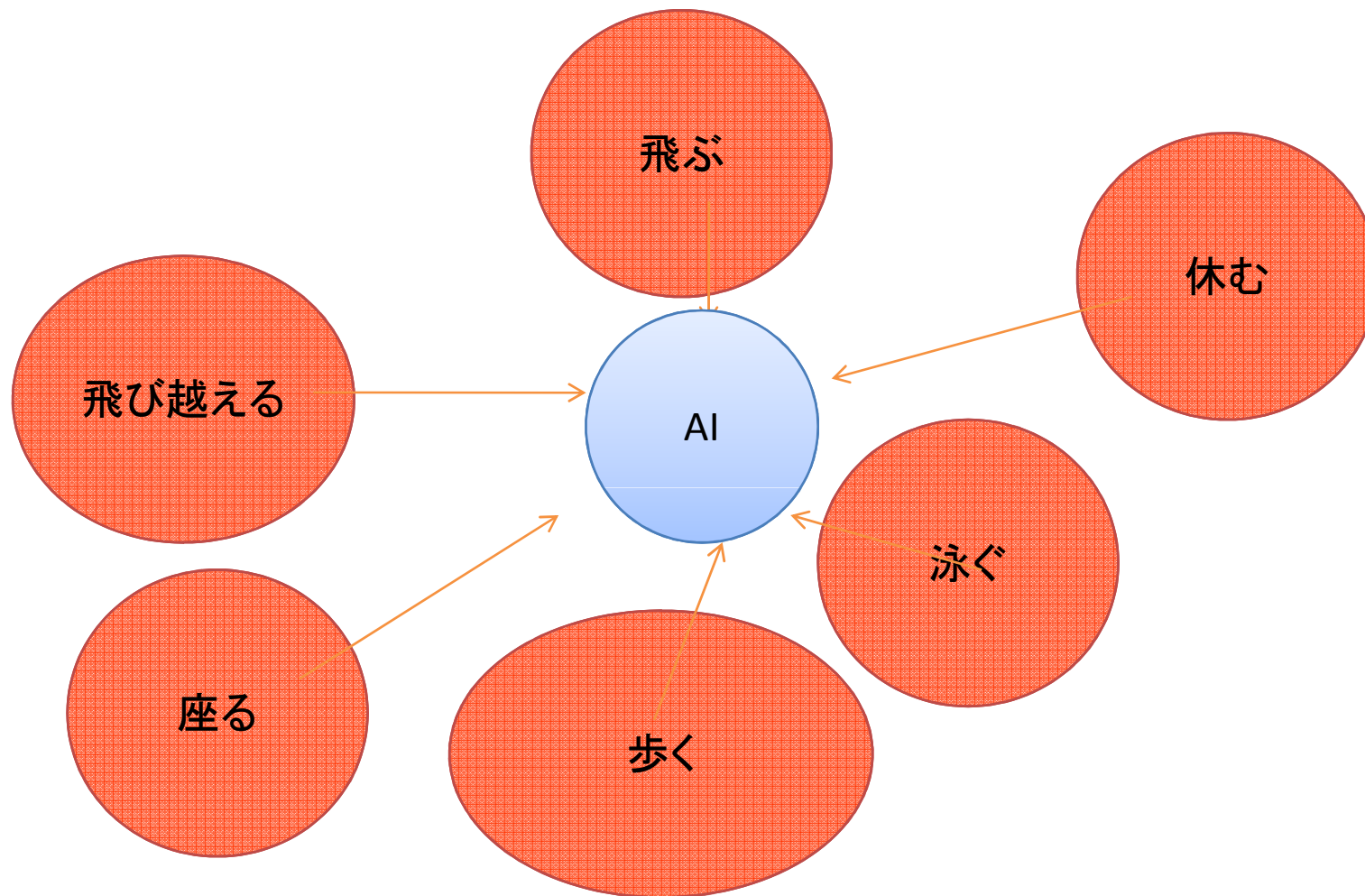












ゲームにおけるアフォーダンスの実装は、AIとオブジェクトのコミュニケーション・モデルとなる。(オブジェクトからAIへ提案)

知性

マッピング
された身体

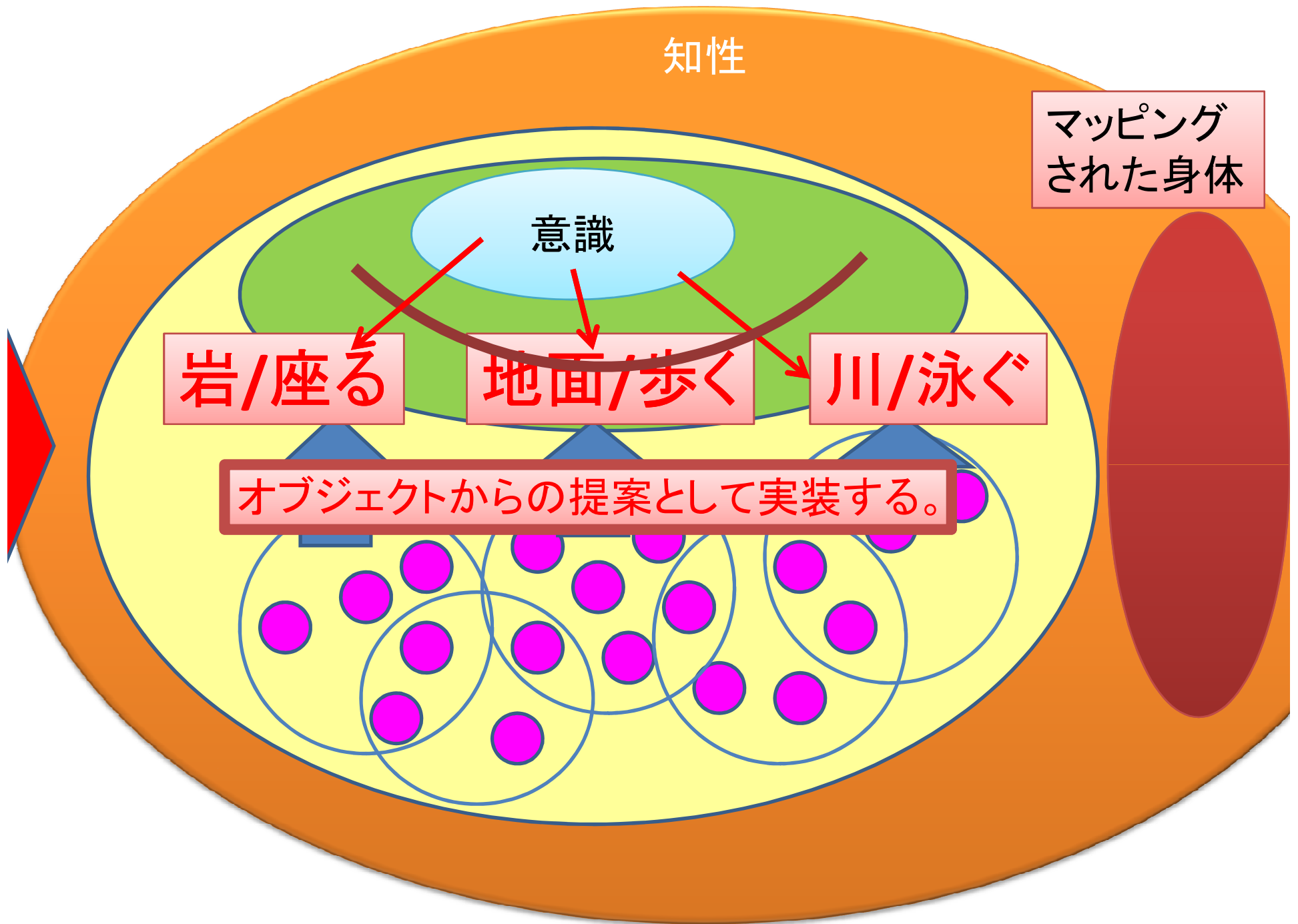
意識

岩/座る

地面/歩く

川/泳ぐ

オブジェクトからの提案として実装する。



知性

マッピング
された身体

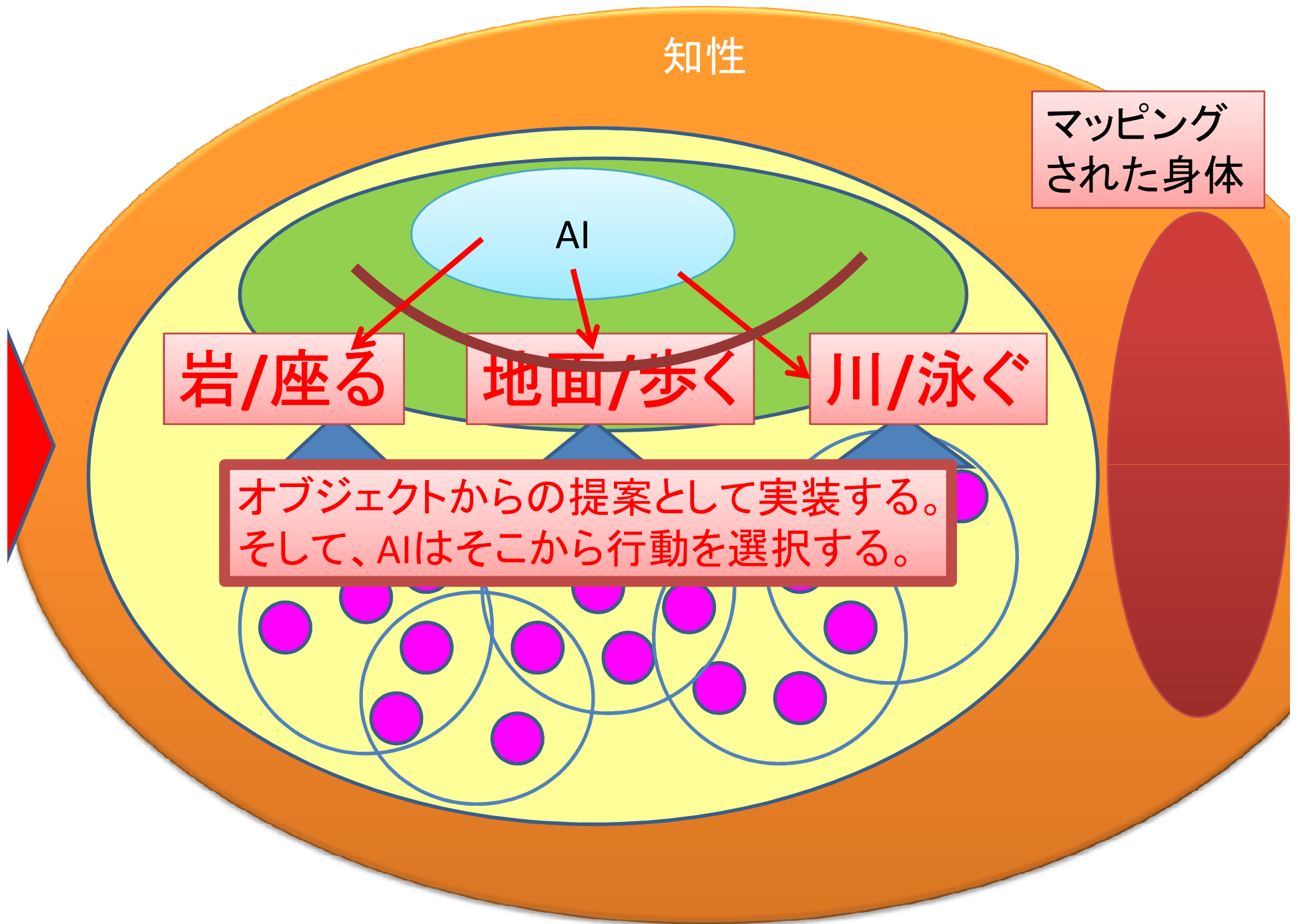
AI

岩/座る

地面/歩く

川/泳ぐ

オブジェクトからの提案として実装する。
そして、AIはそこから行動を選択する。



知性

マッピング
された身体

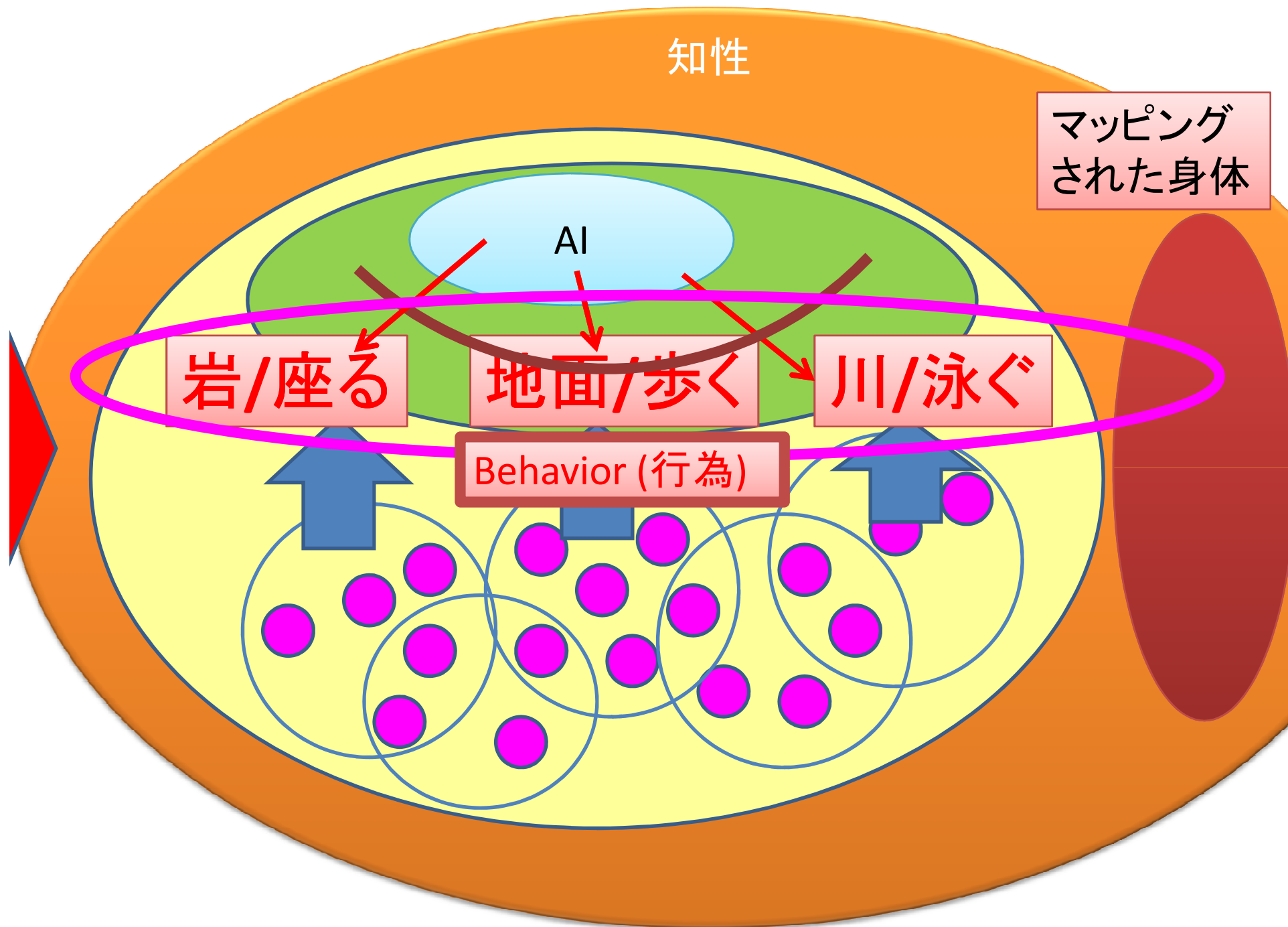
AI

岩/座る

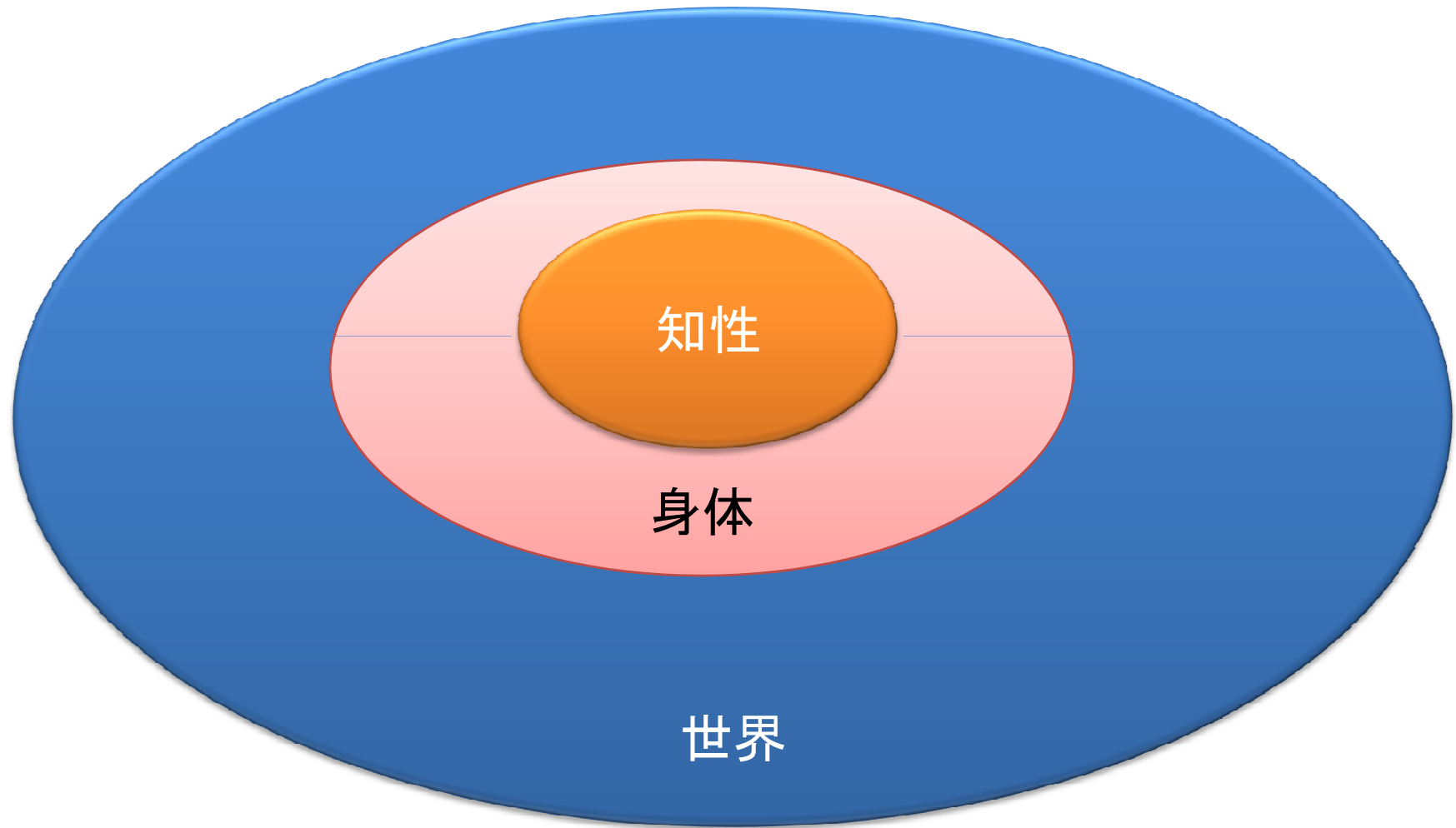
地面/歩く

川/泳ぐ

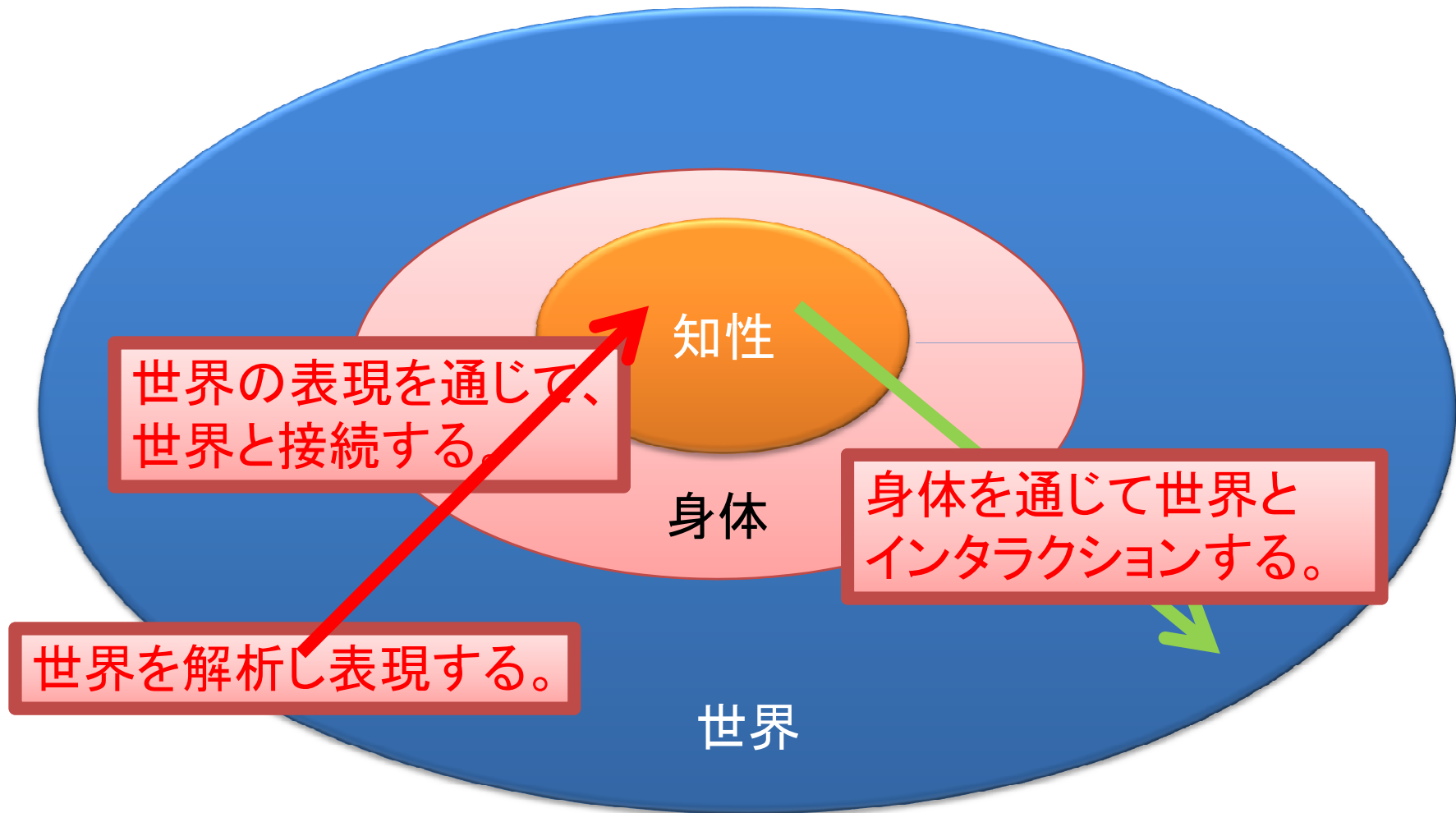
Behavior (行為)

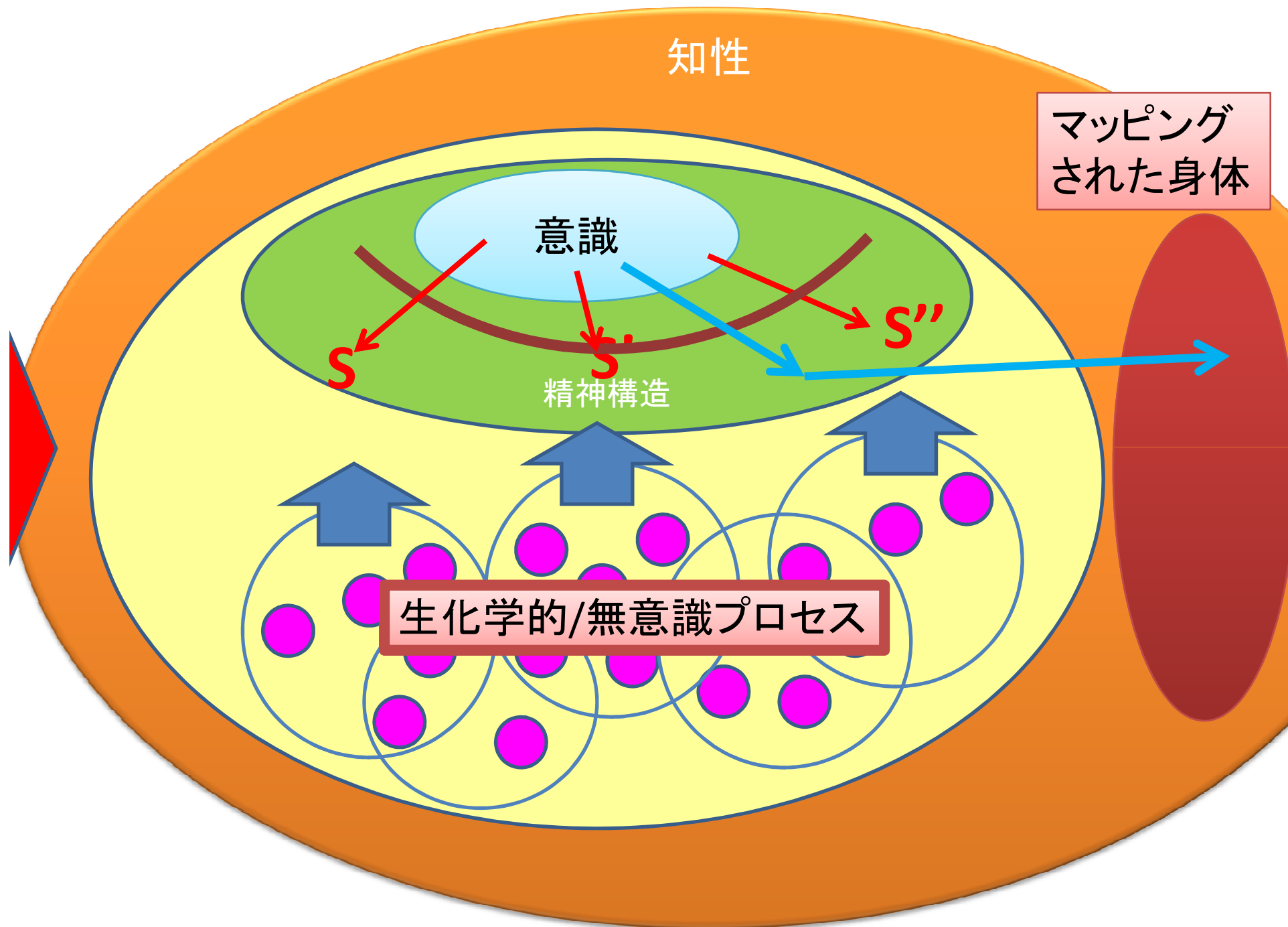


ゲームAIを作る

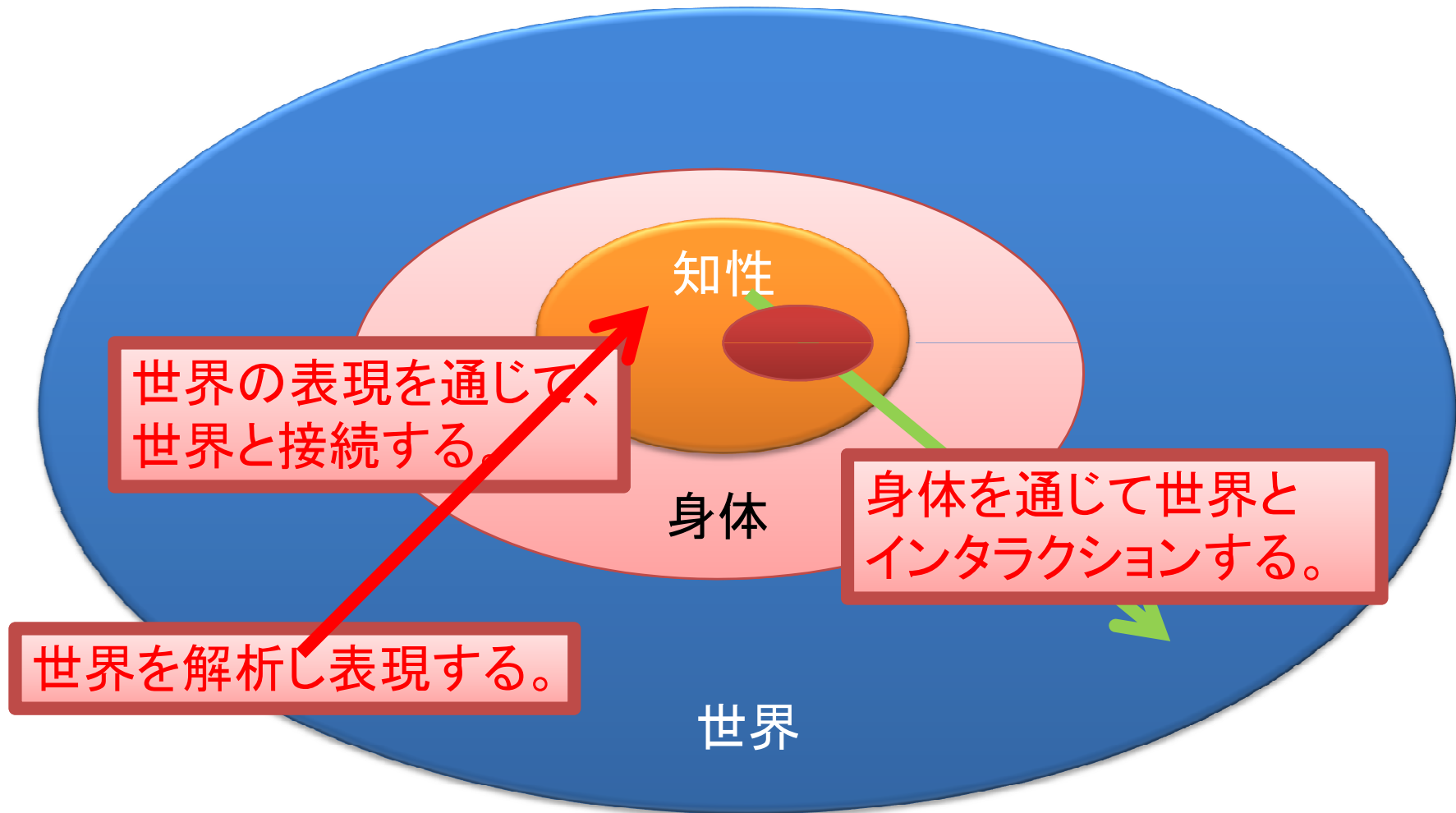


ゲームAIを作る



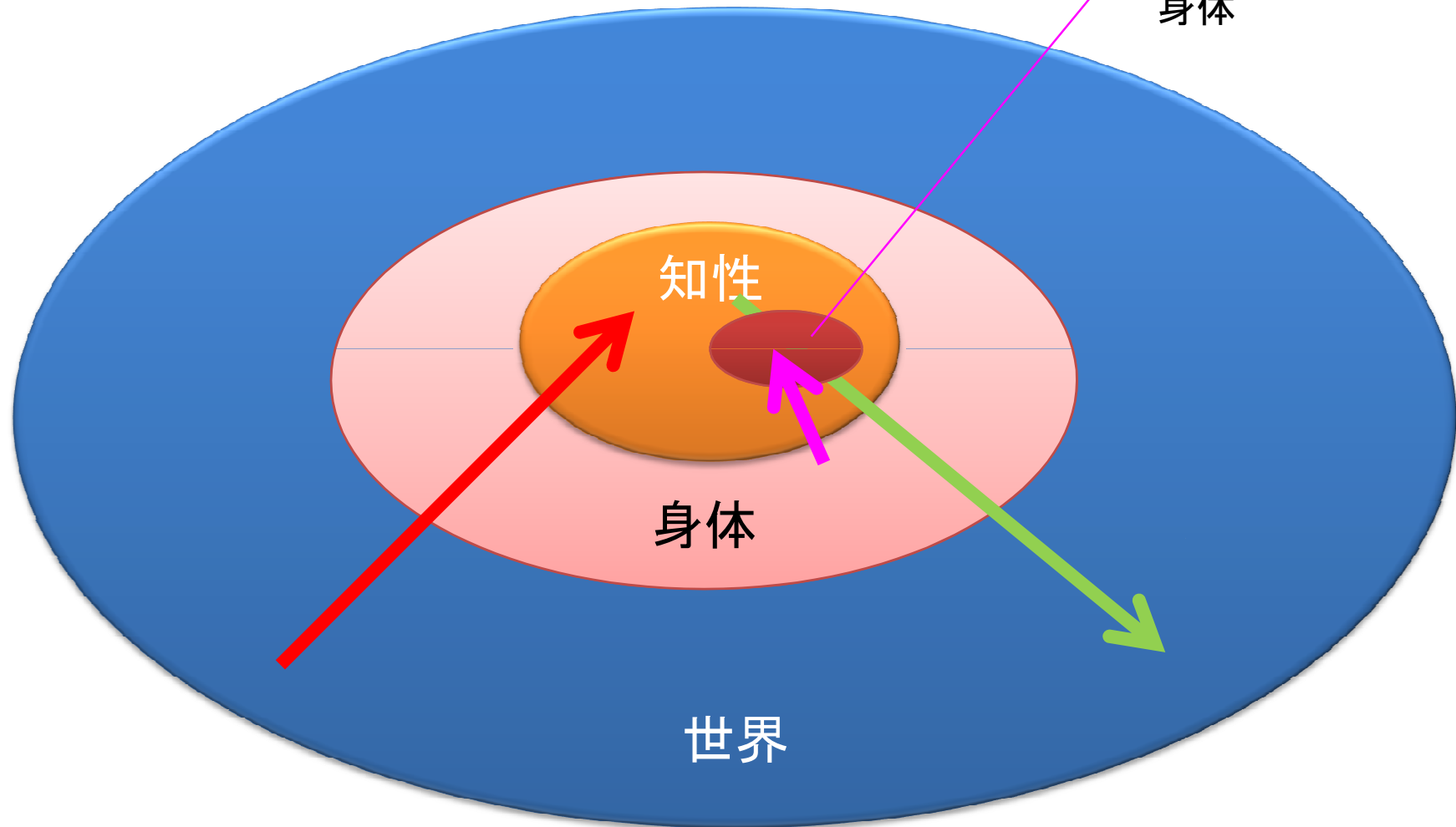


ゲームAIを作る



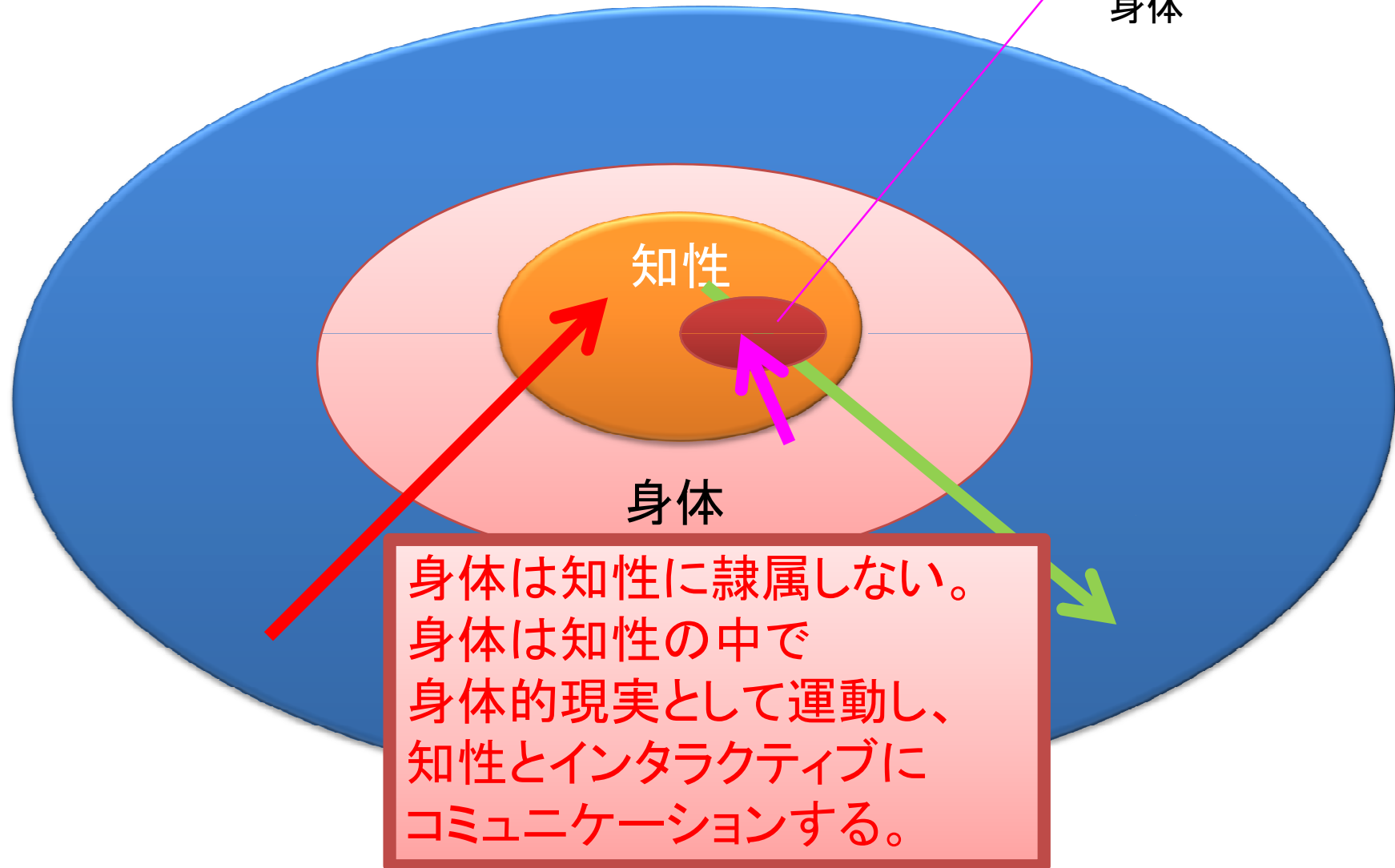
ゲームAIを作る

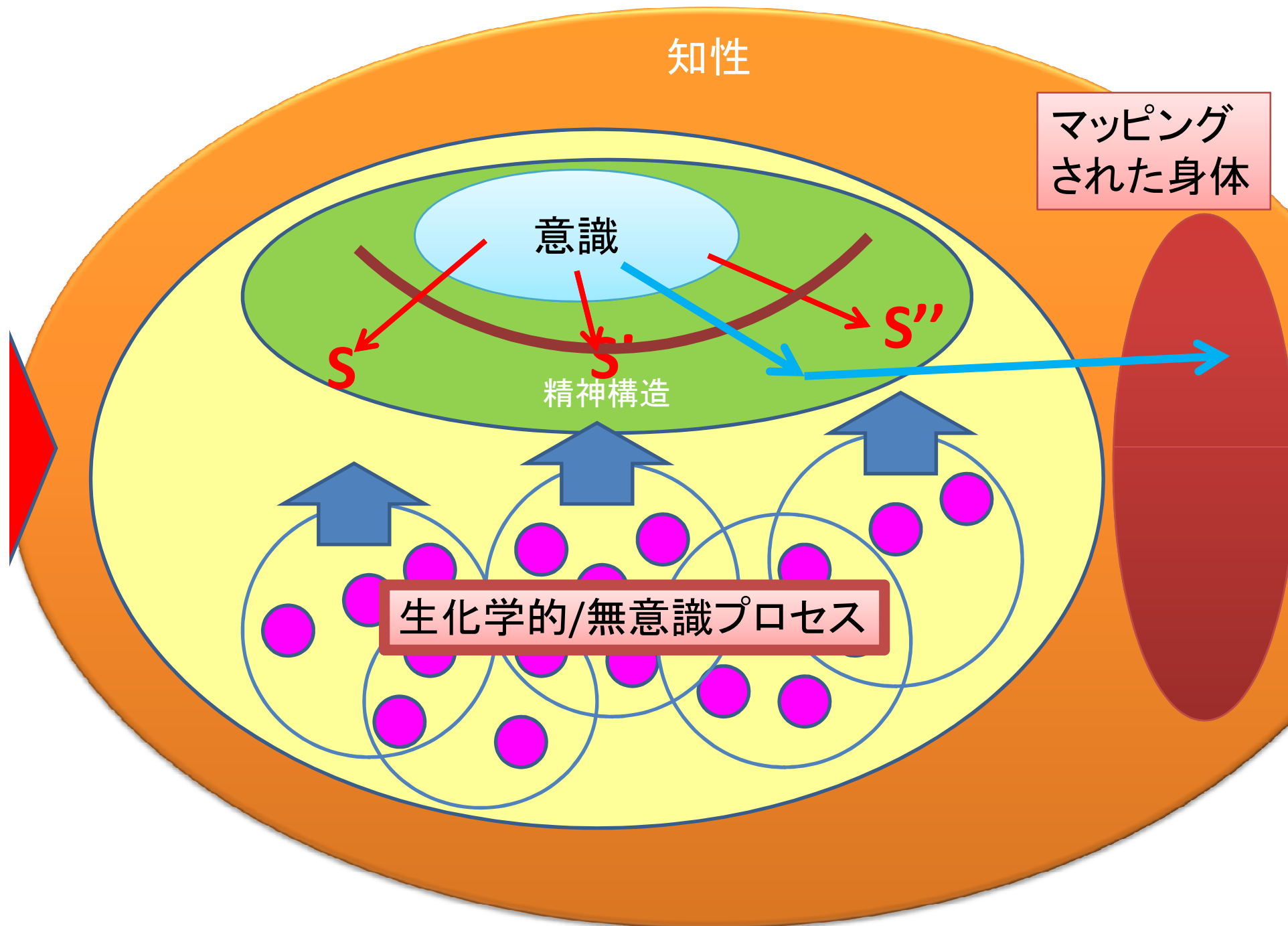
我々が
身体と思っている
精神の中の
身体

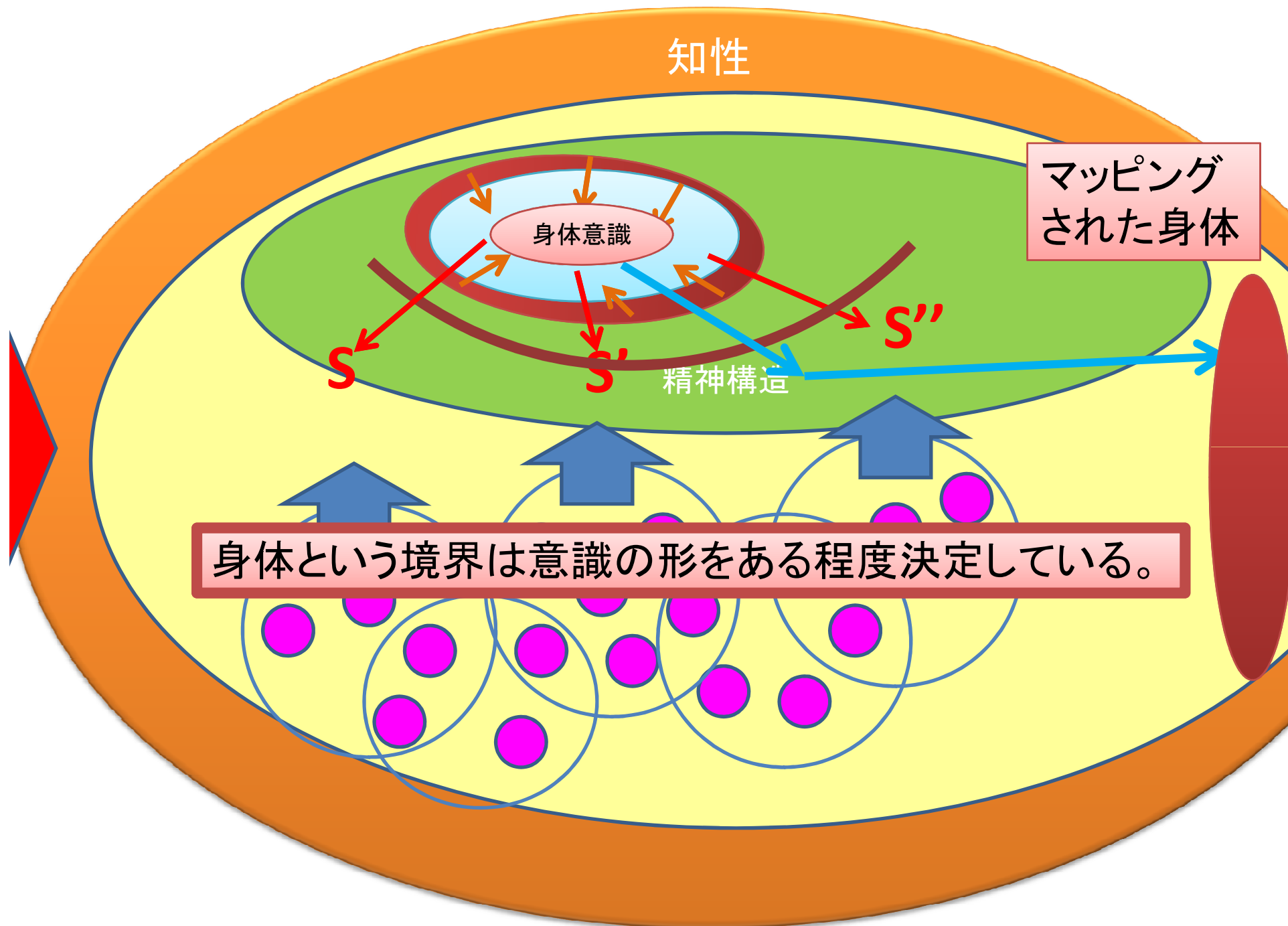


ゲームAIを作る

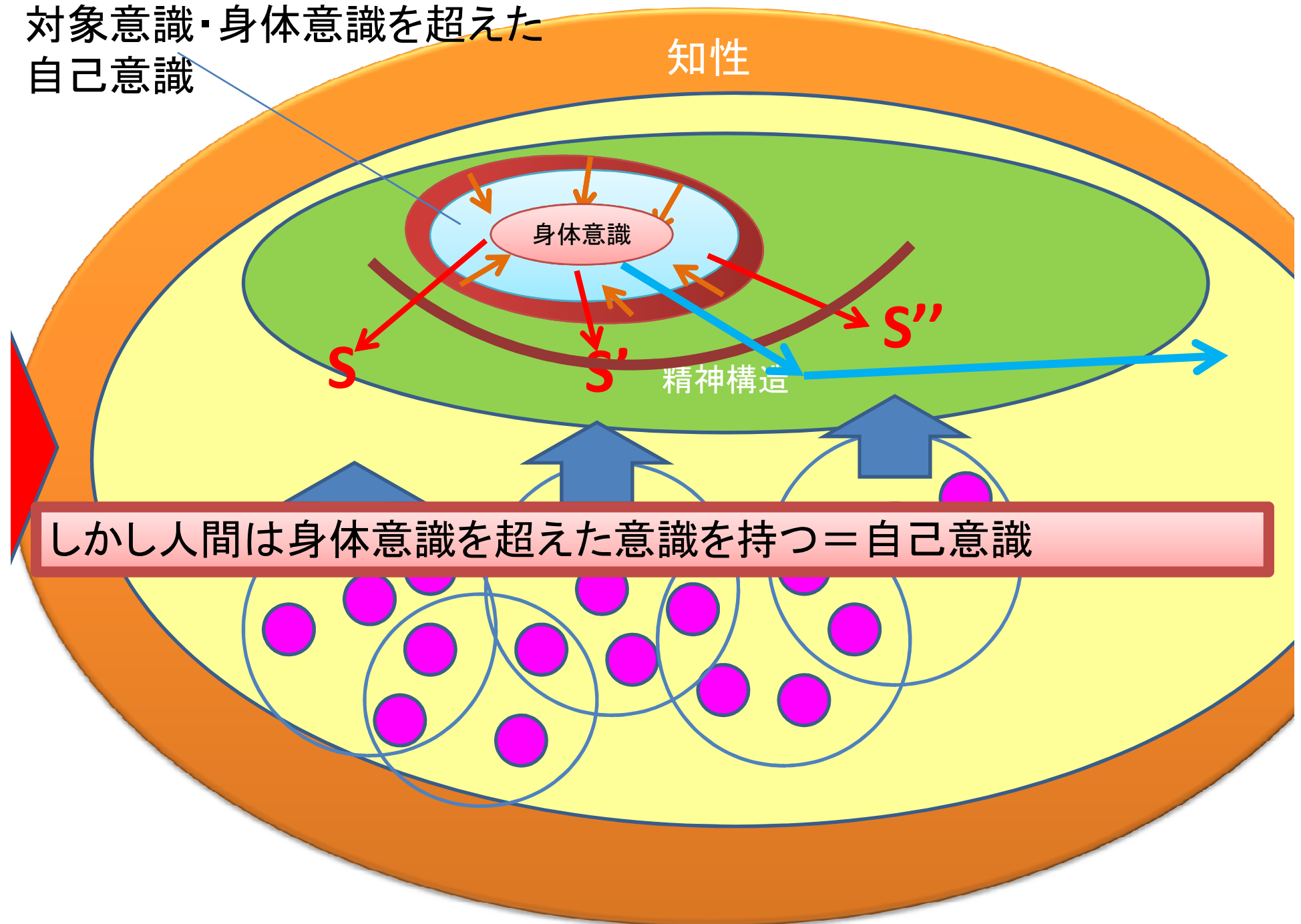
我々が
身体と思っている
精神の中の
身体





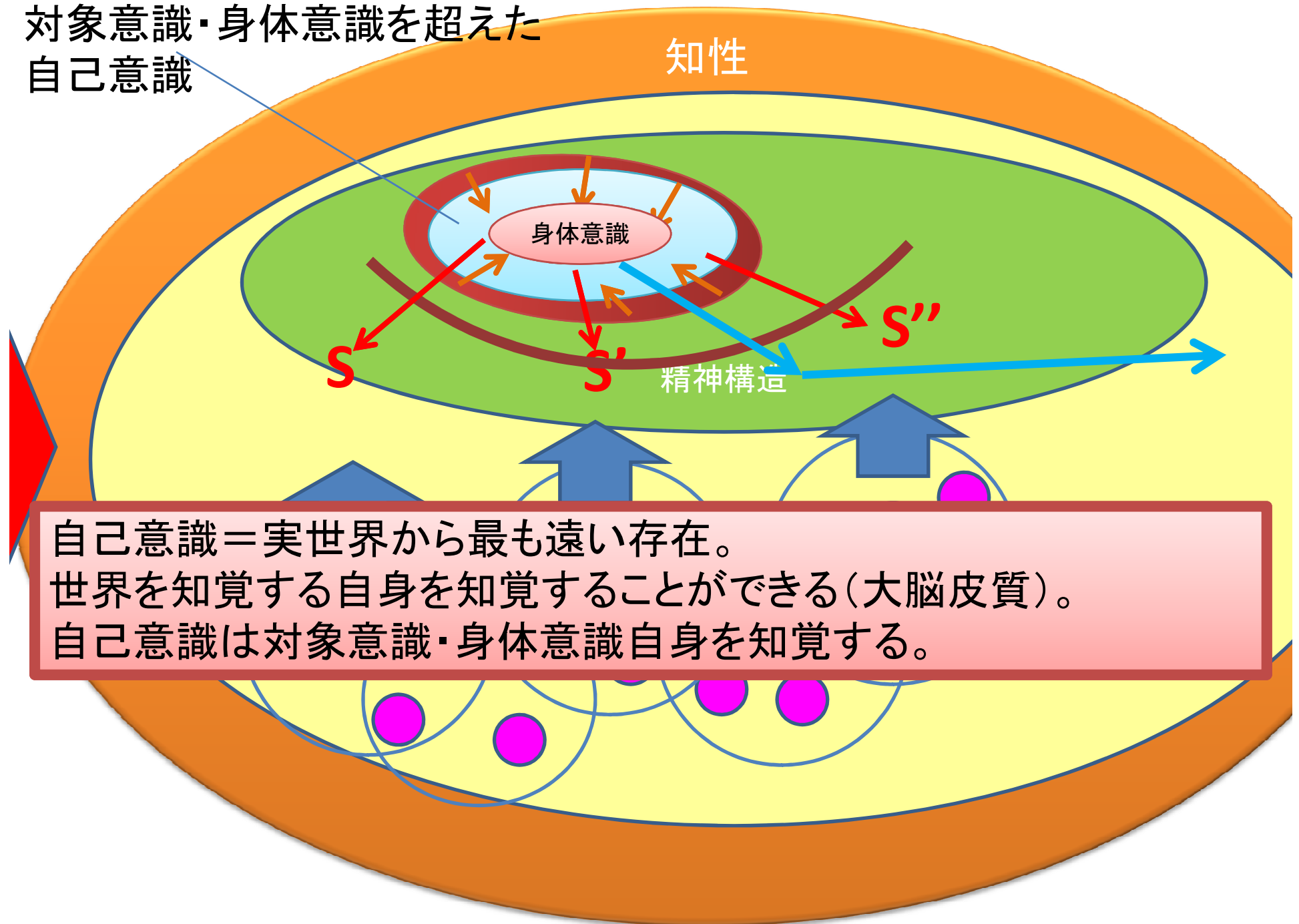


対象意識・身体意識を超えた
自己意識



しかし人間は身体意識を超えた意識を持つ＝自己意識

対象意識・身体意識を超えた
自己意識



対象意識・身体意識を超えた
自己意識

知性

身体意識

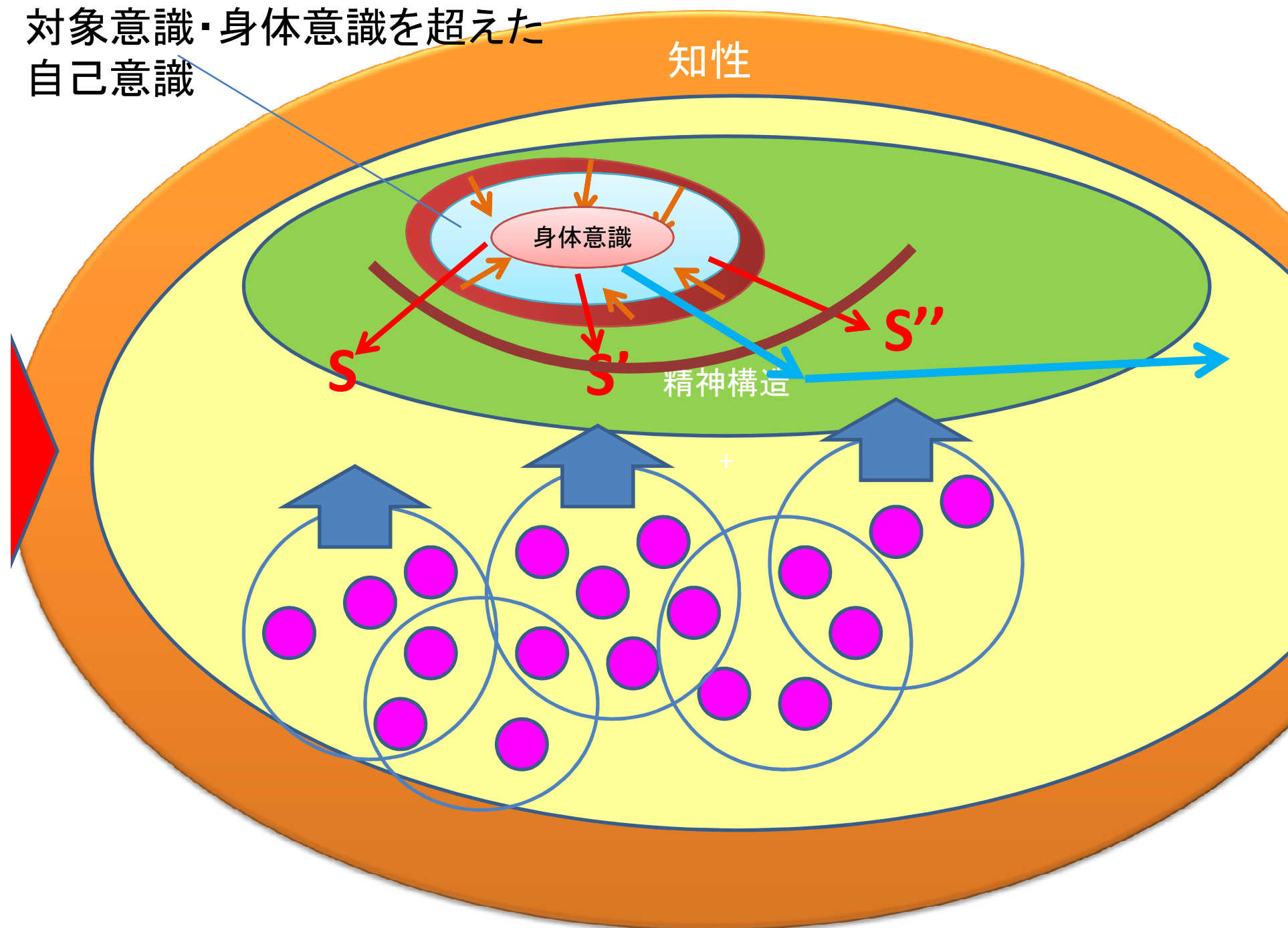
自己意識＝実世界から最も遠い存在。しかし中核ではない。
付属意識。

世界を知覚する自身を知覚することができる（大脳皮質）。
自己意識は対象意識・身体意識自身を知覚する。

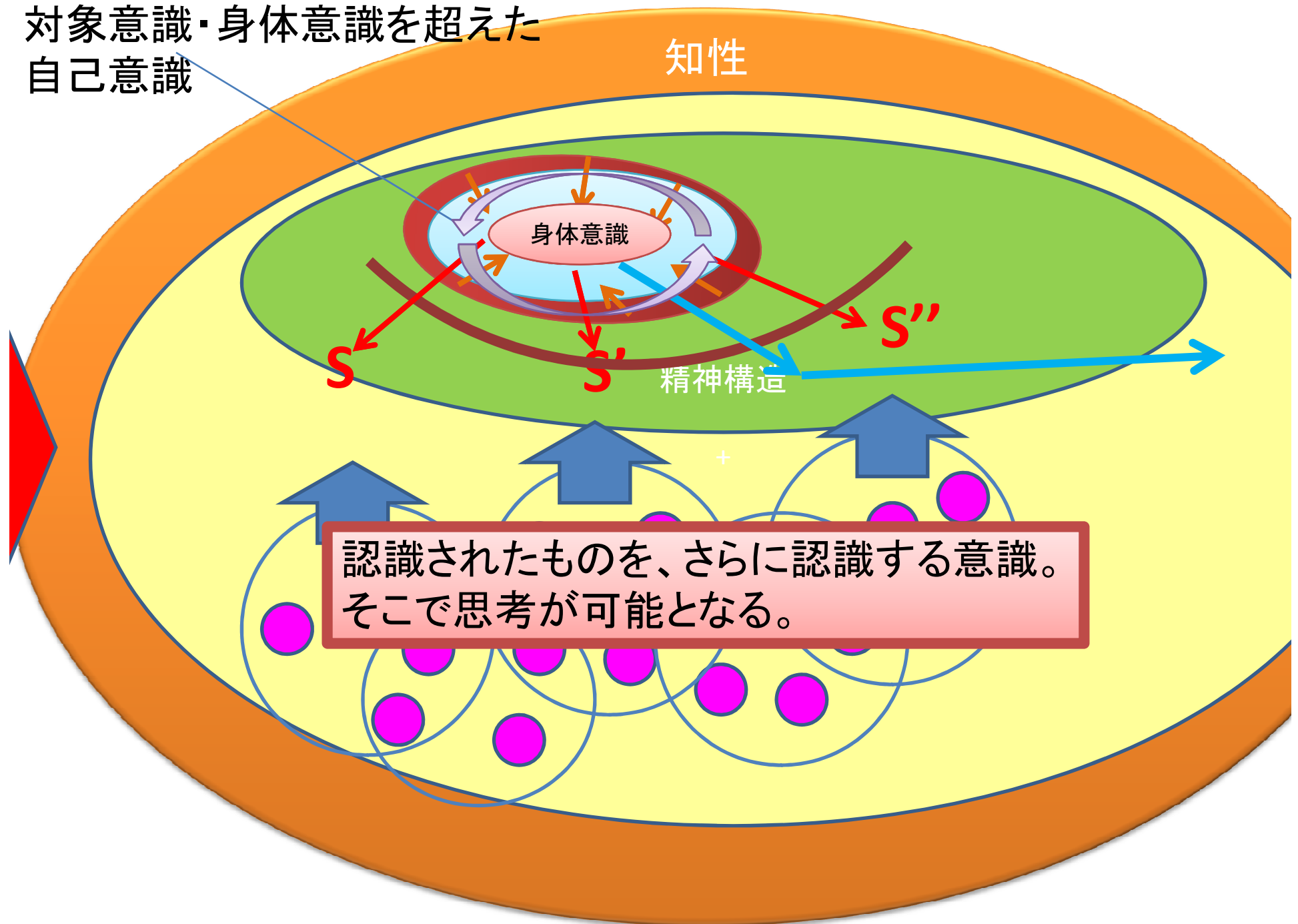
自己意識は抽象的思考を行うことができる。
世界をシミュレーションできる。

自己意識は、自己の連続性を認識する。自己意識は生成する。
身体意識の持続性によって。

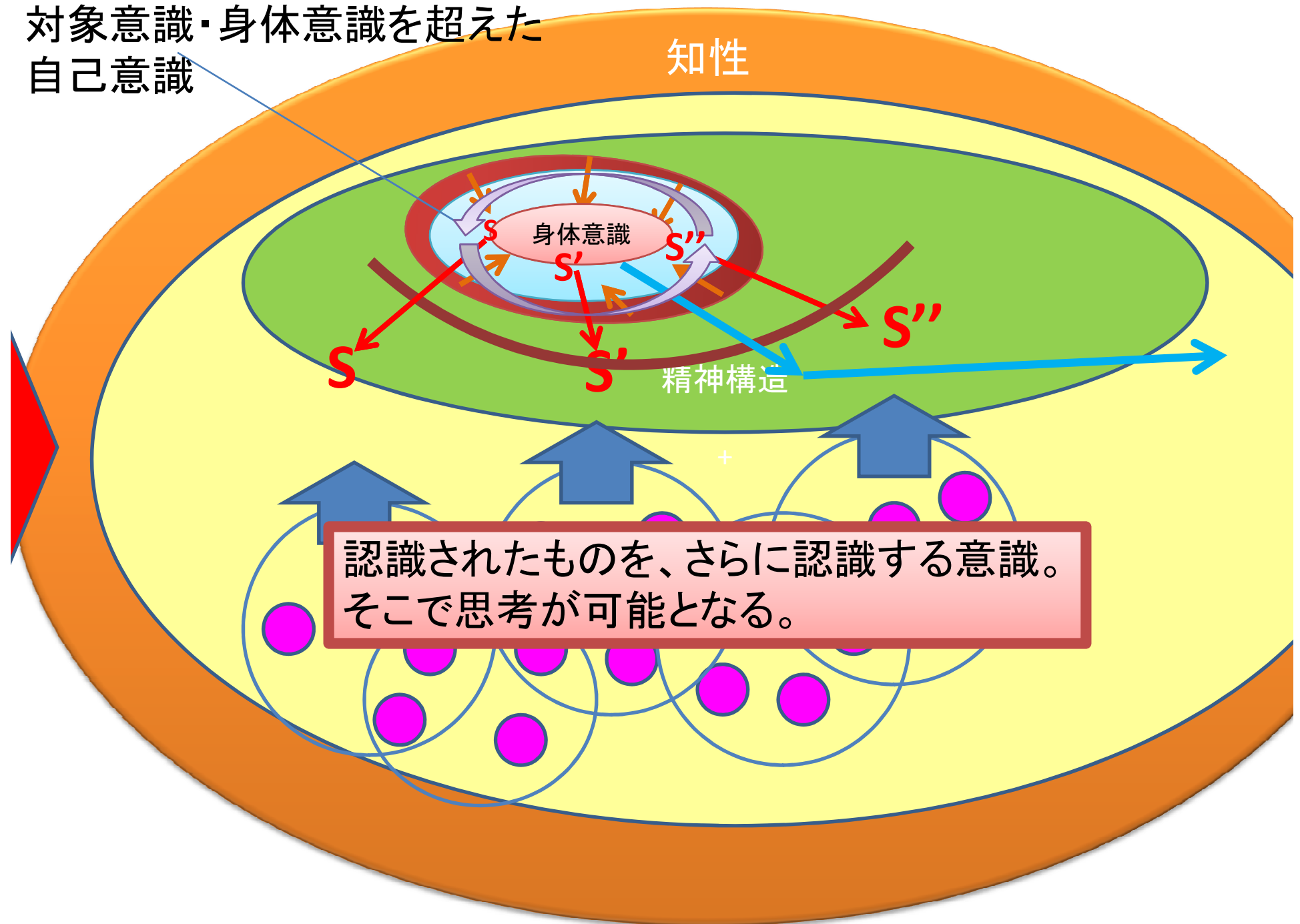
対象意識・身体意識を超えた
自己意識



対象意識・身体意識を超えた
自己意識



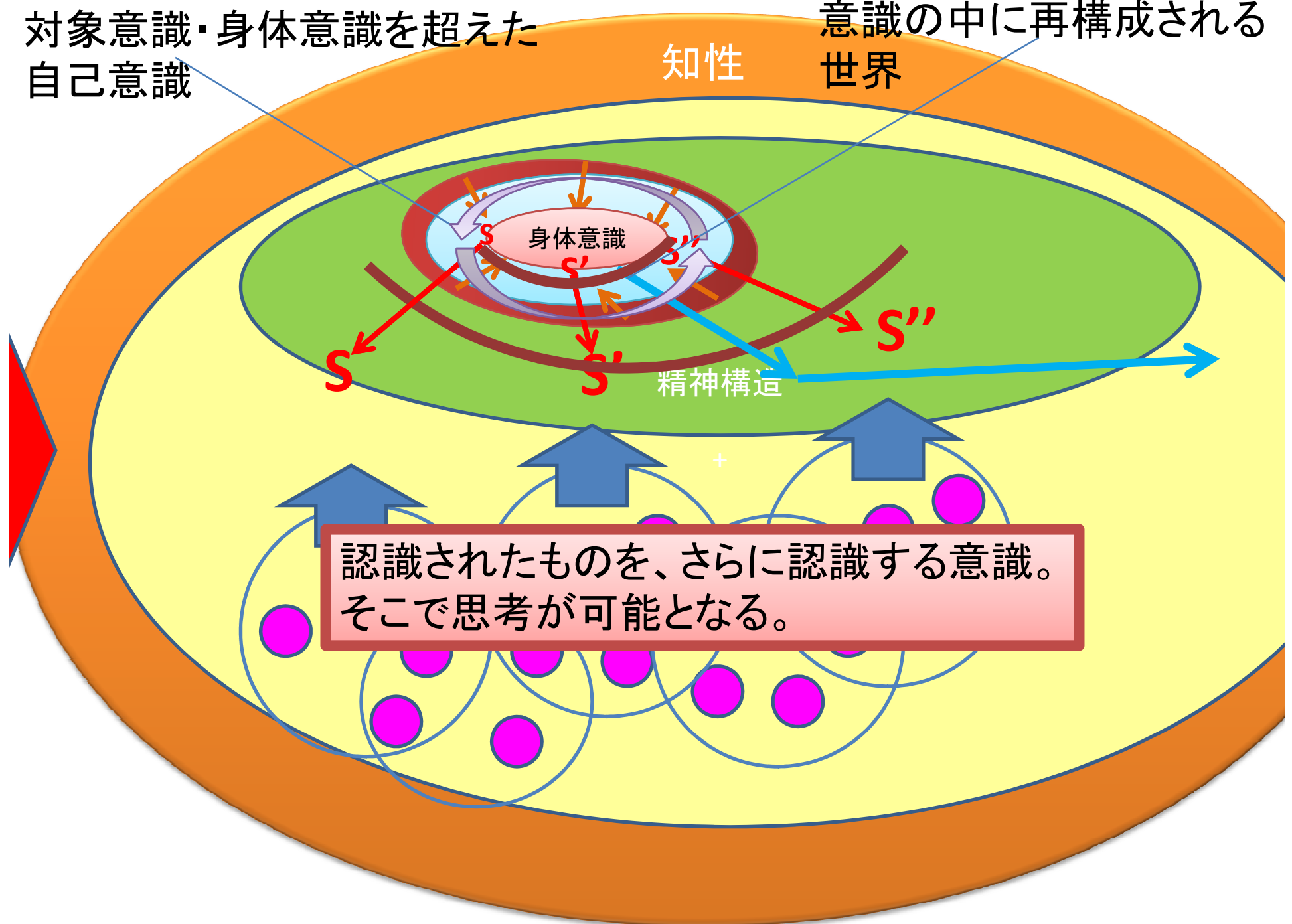
対象意識・身体意識を超えた
自己意識



対象意識・身体意識を超えた
自己意識

知性

意識の中に再構成される
世界



認識されたものを、さらに認識する意識。
そこで思考が可能となる。

CERA-CRANIUM ARCHITECTURE

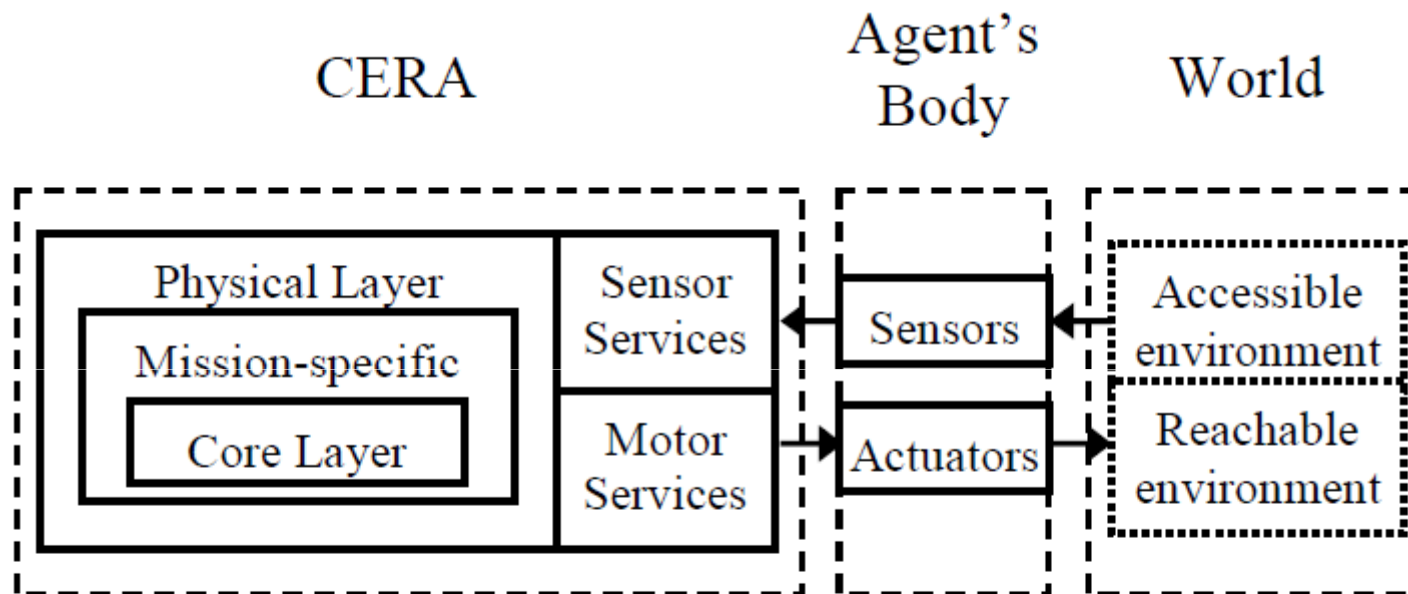


Fig. 3. CERA Cognitive Architecture. The layered design involves a subsumption relation: higher layers process more abstract content than lower layers. Sensor and motor services are enclosed in the so-called sensory-motor services layer, which is agent dependent.

Arrabales, R. Ledezma, A. and Sanchis, A. "Towards Conscious-like Behavior in Computer Game Characters", in Proceedings of the *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games 2009 (CIG-2009)* pp. 217-224. ISBN 978-1-4244-4815-9.

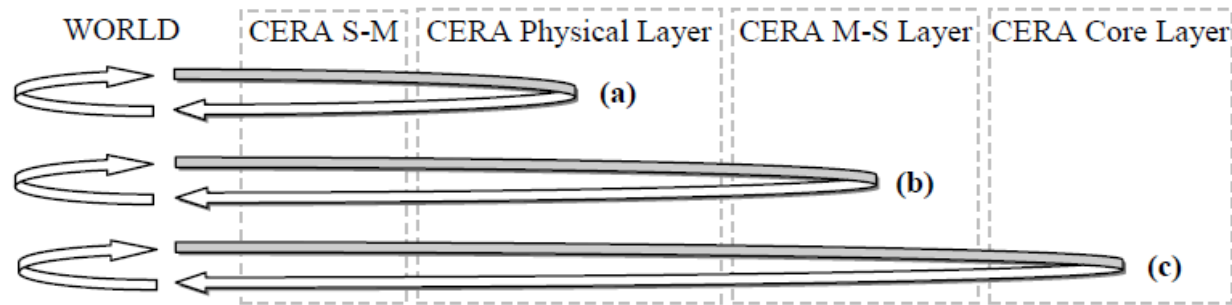


Figure 5. Different feedback loops produced in the CERA-CRANIUM.

Curve (a) in Figure 5 represents the feedback loop produced when an instinctive reflex is triggered as in the example depicted in Figure 4. Figure 5 curve (b) corresponds to a situation in which a mission-specific behavior is being performed unconsciously. Finally, curve (c)

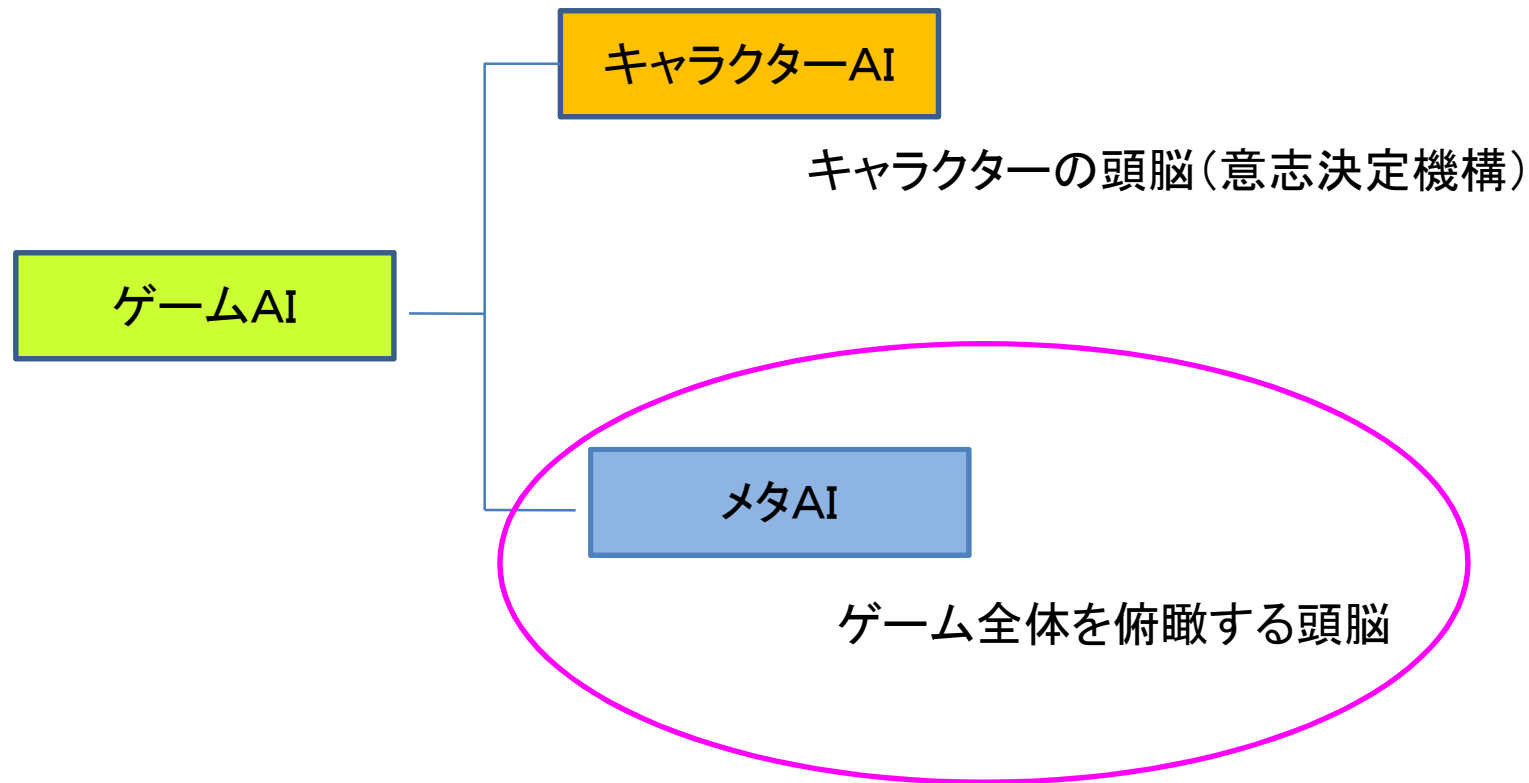
symbolizes the higher level control loop, in which a task is being performed consciously. These three types of control loops are not mutually exclusive; in fact, same percepts will typically contribute to simultaneous loops taking place at different levels.

まとめ

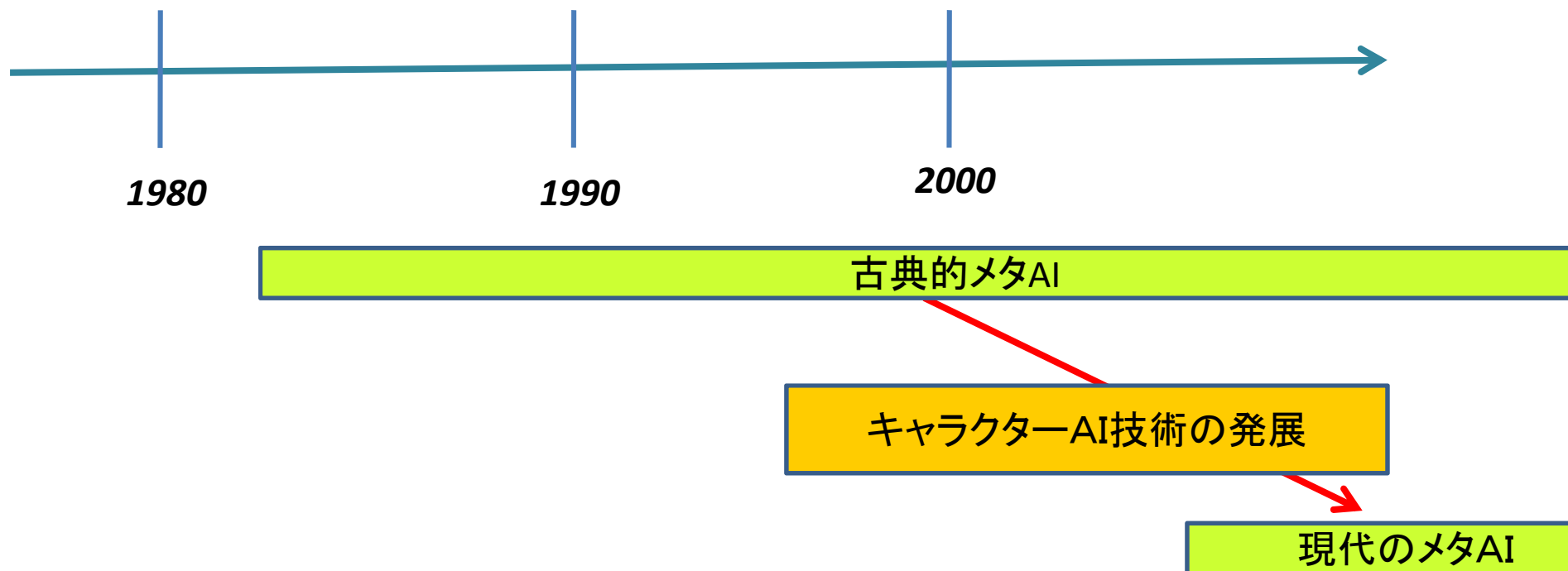
- (1) デジタルゲームAIは人工知能学の延長ではなくて、認知科学、精神医学、心理学から全体を再構成した新しい学問である。
- (2) 人工知能は他の分野のアイデアの試金石であり、実験の結果をフィードバックすることで、認知科学、精神医学、心理学とインタラクティブに発展する。

付録：メタAI

ゲームAIの二つの種類



メタAIの歴史



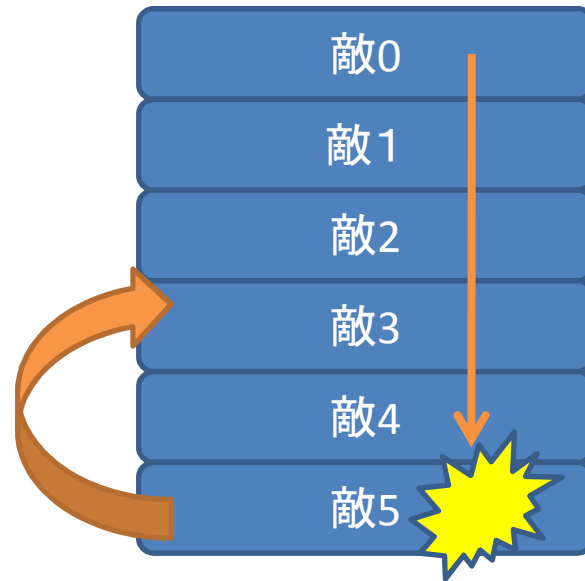
古典的メタAI = レベル調整AI

岩谷徹氏： ファンと一般のユーザーを満足させる方法のひとつは人工知能AIのような考え方です。**プレイヤースキルをプログラム側から判断して、難易度を調整していくというものです。これを私はセルフゲームコントロールシステムと呼んで10年以上前から開発に使っています。**

— International Game Designers Panel —

http://game.watch.impress.co.jp/docs/20050312/gdc_int.htm

(例)「ゼビウス」 敵出現テーブル巻き戻し



遠藤雅伸氏 あと面白い機能なんですけれど、ゼビウスには非常に簡単なAIが組み込まれています。**「プレイヤーがどれくらいの腕か」というのを判断して、出てくる敵が強くなるんです。**

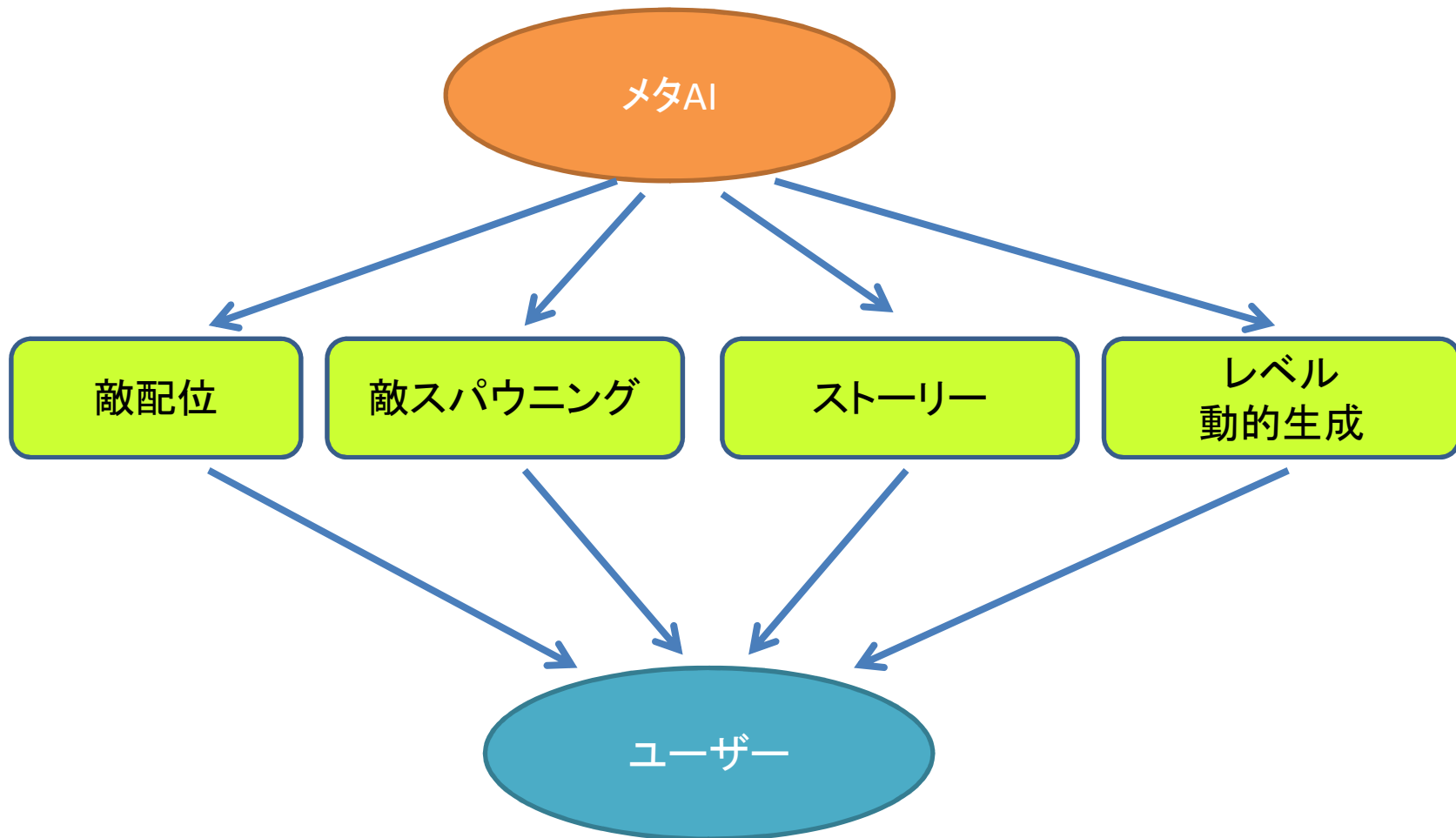
強いと思った相手には強い敵が出てきて、弱いと思った相手には弱い敵が出てきます。そういったプログラムが組み込まれています。ゲームの難易度というのは「初心者には難しくて、上級者には簡単だ」ということが、ひとつの難易度で(調整を)やっていくと起きてしまうので、その辺を何とか改善したいな、ということでそういったことを始めてみたのですけれど、お陰で割合にあまり上手くない人でも比較的長くプレイできる、うまい人でも最後のほうに行くまで結構ドラマチックに楽しめる、そういった感じになっています。 — ゼビウスセミナー —

<http://spitfire.client.jp/shooting/xvious2.html>

現代のメタAI



より積極的にゲームに干渉する。



Left 4 Dead の例

「Counter Strike」の世界的成功



自分たちはなぜ成功したかを徹底的に考察



それは緩急があったからだ。

Counter Strike の「緩急＝ペース」はある程度、偶然に作られたかもしれない。
では、そういったゲームが面白くなる最適なペースを、
人工的に常に作り出すことはできないだろうか？



メタAI (=AI Director)によってペースを作る。

適応型動的ペーシング

[基本的発想]

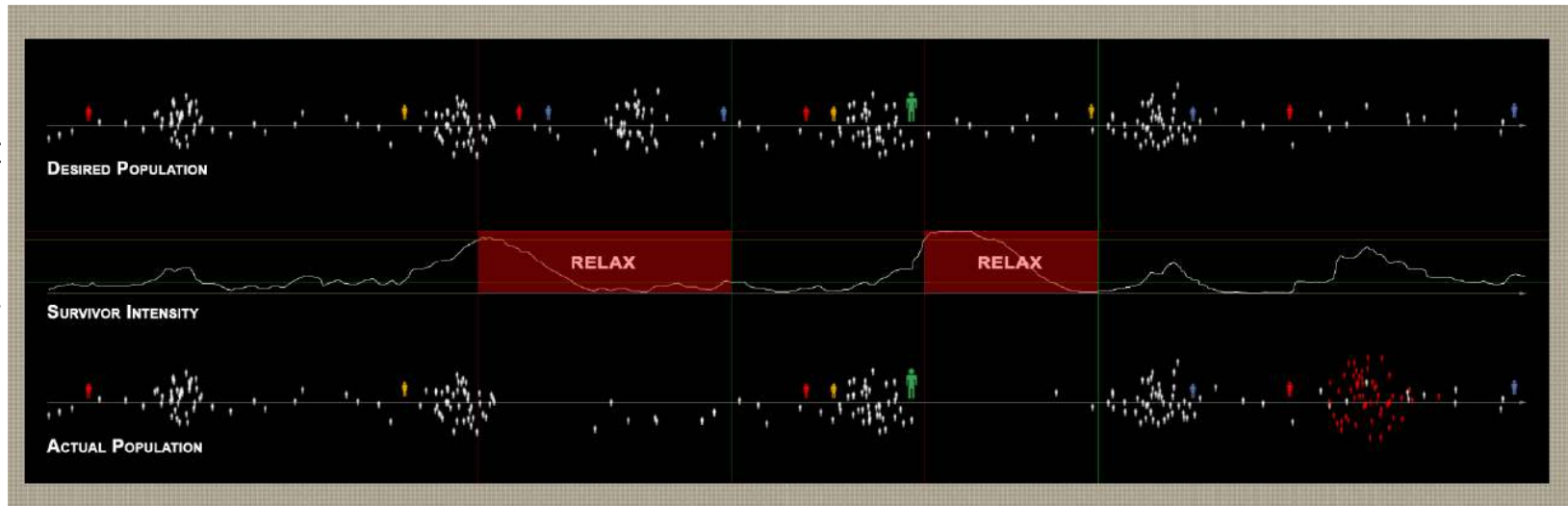
- (1) ユーザーがリラックスしている時に、ユーザーの緊張度が一定の敷居を超えるまで敵をぶつけ続ける。
- (2) ユーザーの緊張度が一定の緊張度を超えると敵を引き上げる。
- (3) リラックスすると敵を出現し始める((1)へ)。

メタAI(=AI Director)によるユーザーのリラックス度に応じた敵出現度

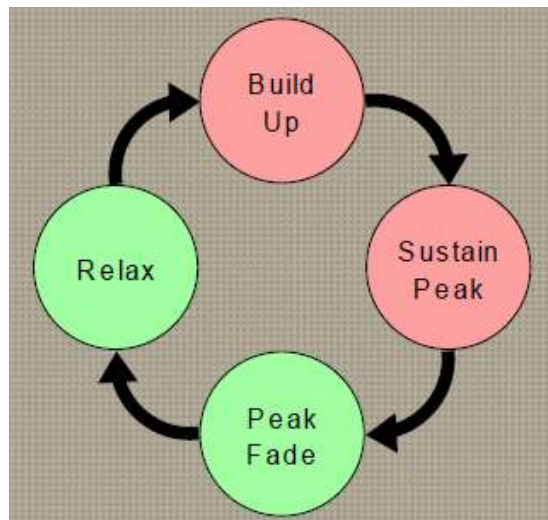
計算によって
求められた
理想的な敵出現数

ユーザーの緊張度

実際の敵出現数



(1) リラックスを破るように敵を出現させる。



Build Up ...プレイヤーの緊張度が目標値を超えるまで
敵を出現させ続ける。

Sustain Peak ... 緊張度のピークを3-5秒維持するために、
敵の数を維持する。

Peak Fade ... 敵の数を最小限へ減少して行く。

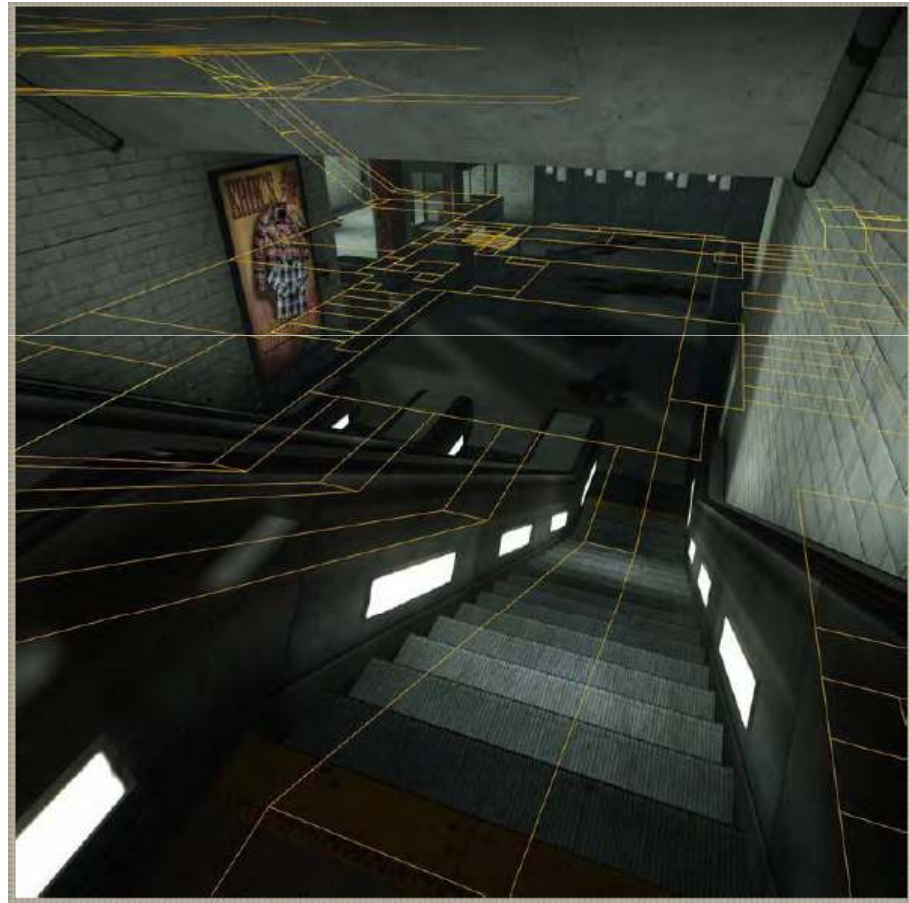
Relax ... プレイヤーたちが安全な領域へ行くまで、30-45秒間、
敵の出現を最小限に維持する。

<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

メタAIがゲームを認識する方法

= キャラクターAIが環境を認識する方法

キャラクター用に作成された
ナビゲーションメッシュを
メタAIがゲームの進行を認識する
ために使用する。



メタAIが作用を行う領域

(AAS=Active Area Set)



<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

メタAIが作用を行う領域 (AAS=Active Area Set)



<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

メタAIが作用を行う領域 (AAS=Active Area Set)

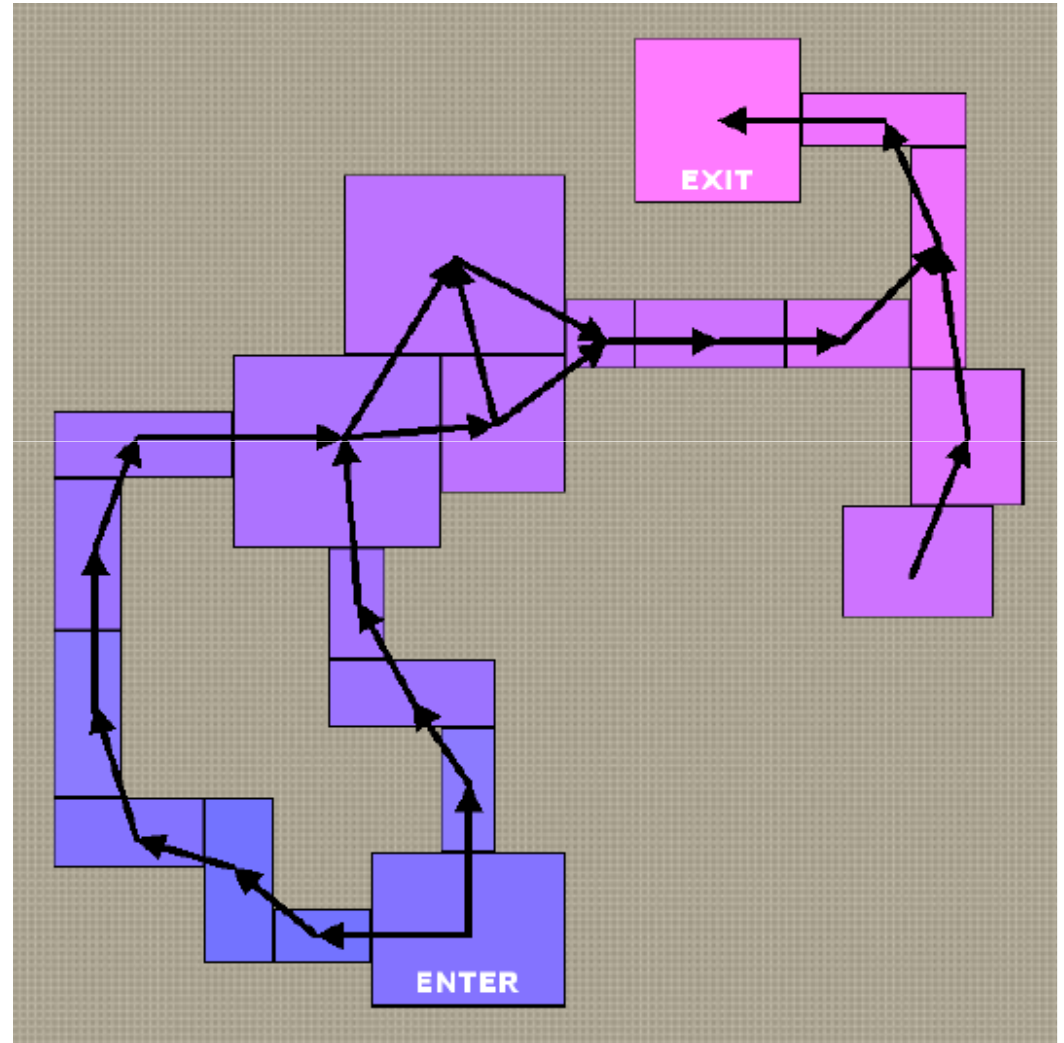


<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

安全な領域までの道のり(Flow Distance)

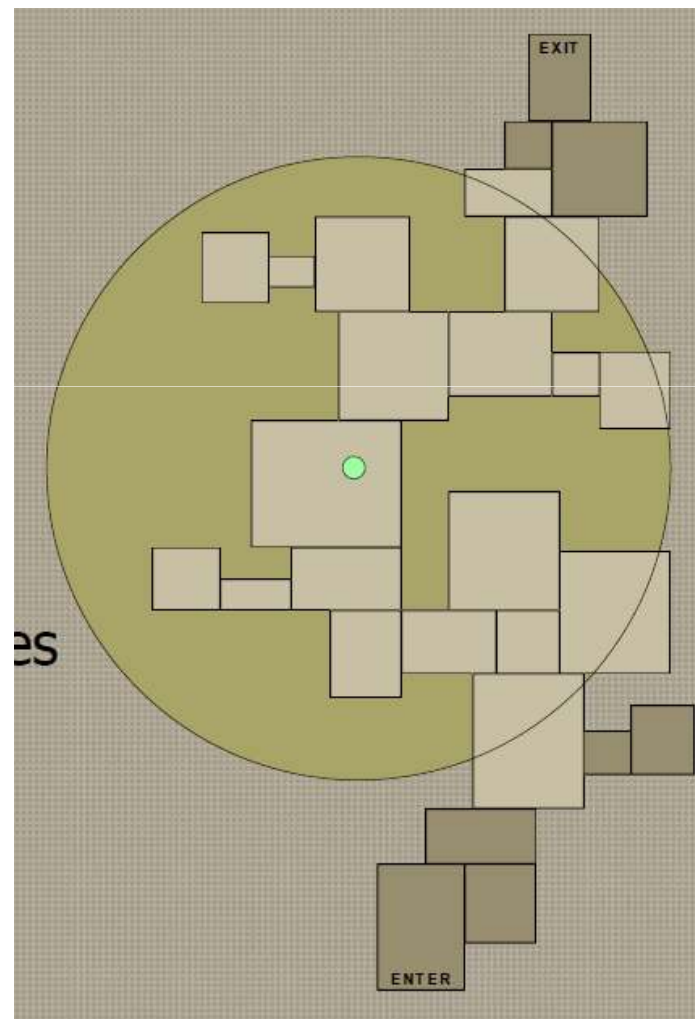
プレイヤー群の経路をトレース・予測

- どこへ来るか
- どこが背面になるか



AAS に対して行うこと。

メタAIは AAS に移動に伴い、
敵の群れを生成・消滅させたりする。

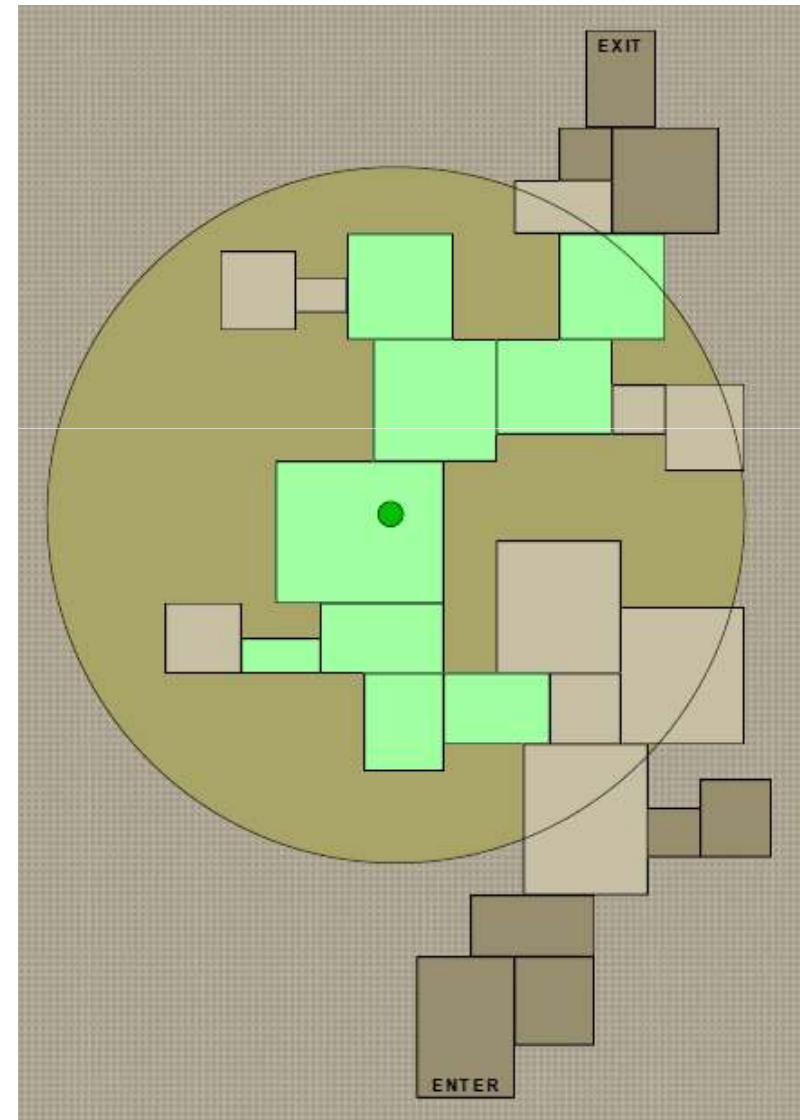


<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

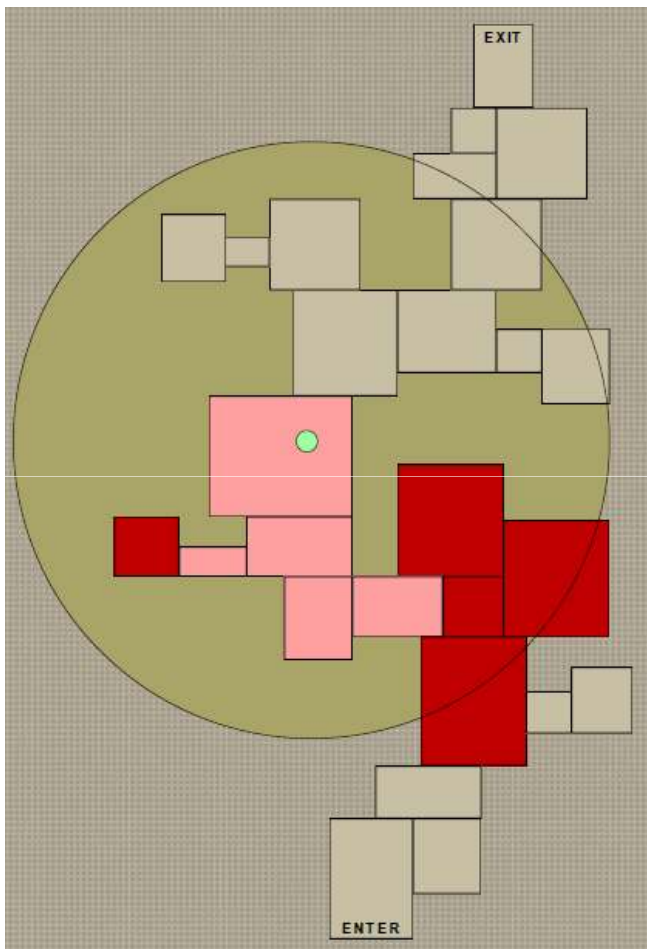
プレイヤーからの可視領域

可視領域では、例えば、敵の
スパウニング(発生)などはできない。

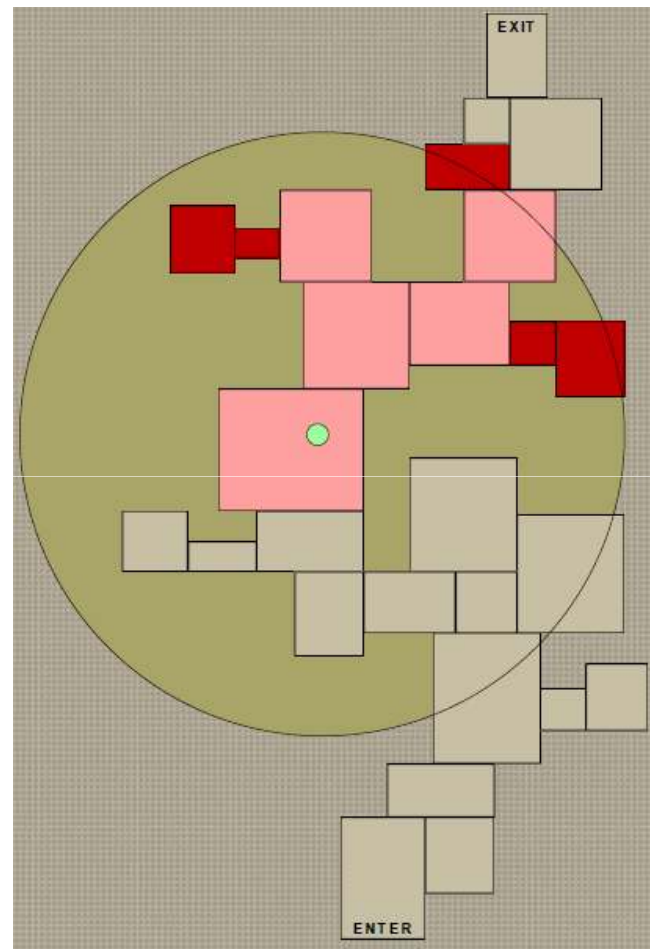
<http://www.valvesoftware.com/publications.html>



敵出現領域



背後



前方

<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

高頻度

Goal: Promote Replayability Procedurally Populated Environments

➤ Structured Unpredictability in Left 4 Dead

- Wanderers (high frequency)
 - Common Infected that wander around in a daze until alerted by a Survivor
- Mobs (medium frequency)
 - A large group (20-30) of enraged Common Infected that periodically rush the Survivors
- Special Infected (medium frequency)
 - Individual Infected with special abilities that harass the Survivor team
- Bosses (low frequency)
 - Powerful Infected that force the Survivors to change their strategy
- Weapon Caches (low frequency)
 - Collections of more powerful weapons
- Scavenge Items (medium frequency)
 - Pipe bombs, Molotovs, Pain Pills, Extra Pistols

低頻度

敵の種類、アイテムの種類ごとに出現頻度が違う。

<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

ボス出現アルゴリズム

<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

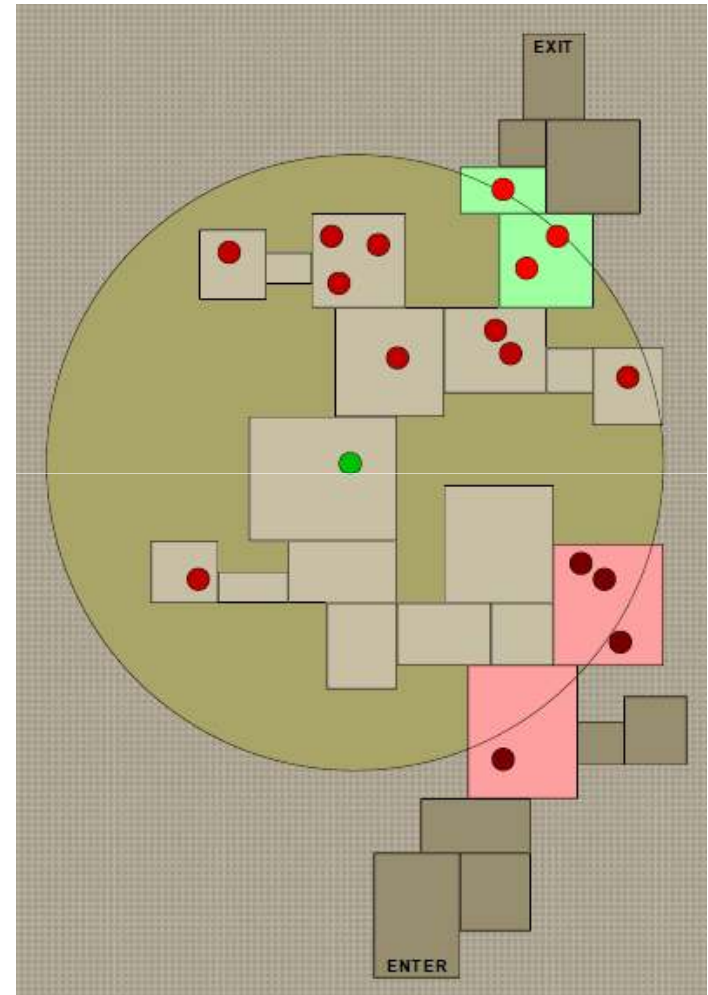
- (1) N体を予想される逃走経路上に配置
- (2) 3つのイベントパターン
(何もいない、を含む)
(例) Tank, Witch, 何もいない
- (3) 同じパターンのくり返しは禁止
(例) Witch, 何もいない、Witch はOK。
Witch, Witch はだめ。

何もいない



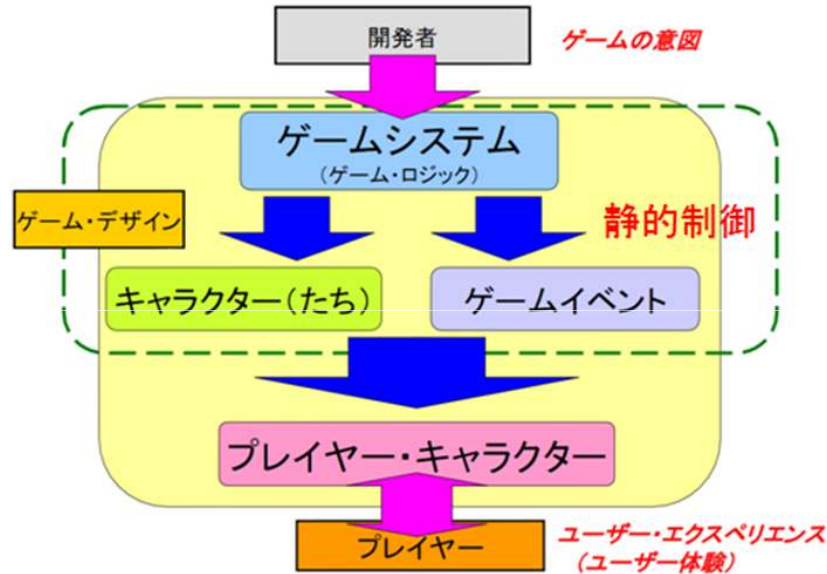
具体的なアルゴリズム

- (1) 各エリアに、出現数 N を決定する
- (2) 出現数 N は予想される逃走経路の長さと要求される密度によって計算される。
- (3) あるエリアがAAS の中に入るとクリーチャーが N 体生成される
- (4) そのエリアがAAS の外に出ると生成が中止され、クリーチャーは消滅される。
- (5) N はそのエリアがプレイヤーから見えている場合、或いは、プレイヤーがリラックスモードの場合には、強制的に0になる。



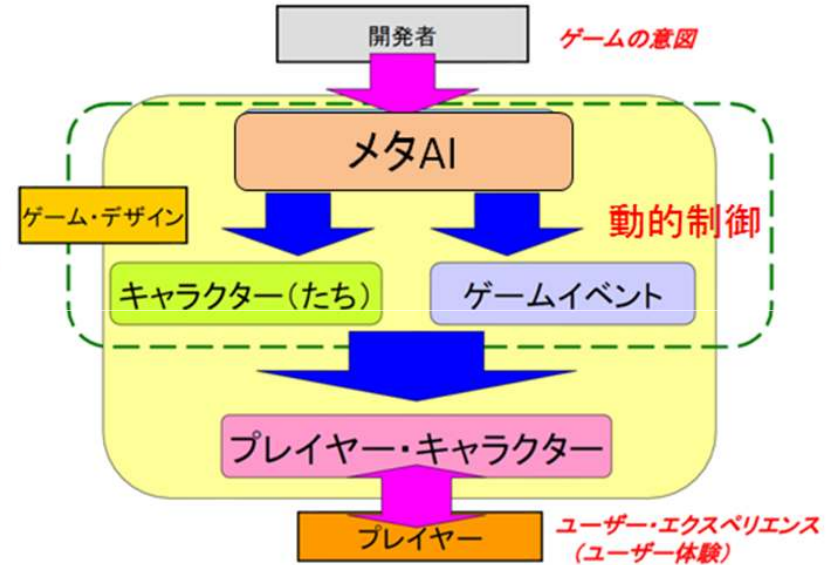
まとめ

デジタルゲームの簡易モデル



ゲームシステム(ゲーム・ロジック)を決めるとコンテンツが固定化される。ゲーム・ロジックを増やす=コンテンツが増える。

メタAIを含んだゲームの簡易モデル



メタAIがゲームとプレイヤーの状況、性質を認識しながら、動的にゲームを変化させる。

理想的にはプロシージャルに無限のコンテンツが生成される。

参考文献

- (1) Michael Booth, "**Replayable Cooperative Game Design: Left 4 Dead**," Game Developer's Conference, March 2009.
- (2) Michael Booth, "**The AI Systems of Left 4 Dead**," Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference at Stanford.

<http://www.valvesoftware.com/publications.html>

- (3) 三宅 陽一郎, “メタAI”, 「デジタルゲームの技術」
P.186-190, ソフトバンククリエイティブ

Closing Talk & Q&A

ありがとうございました！