

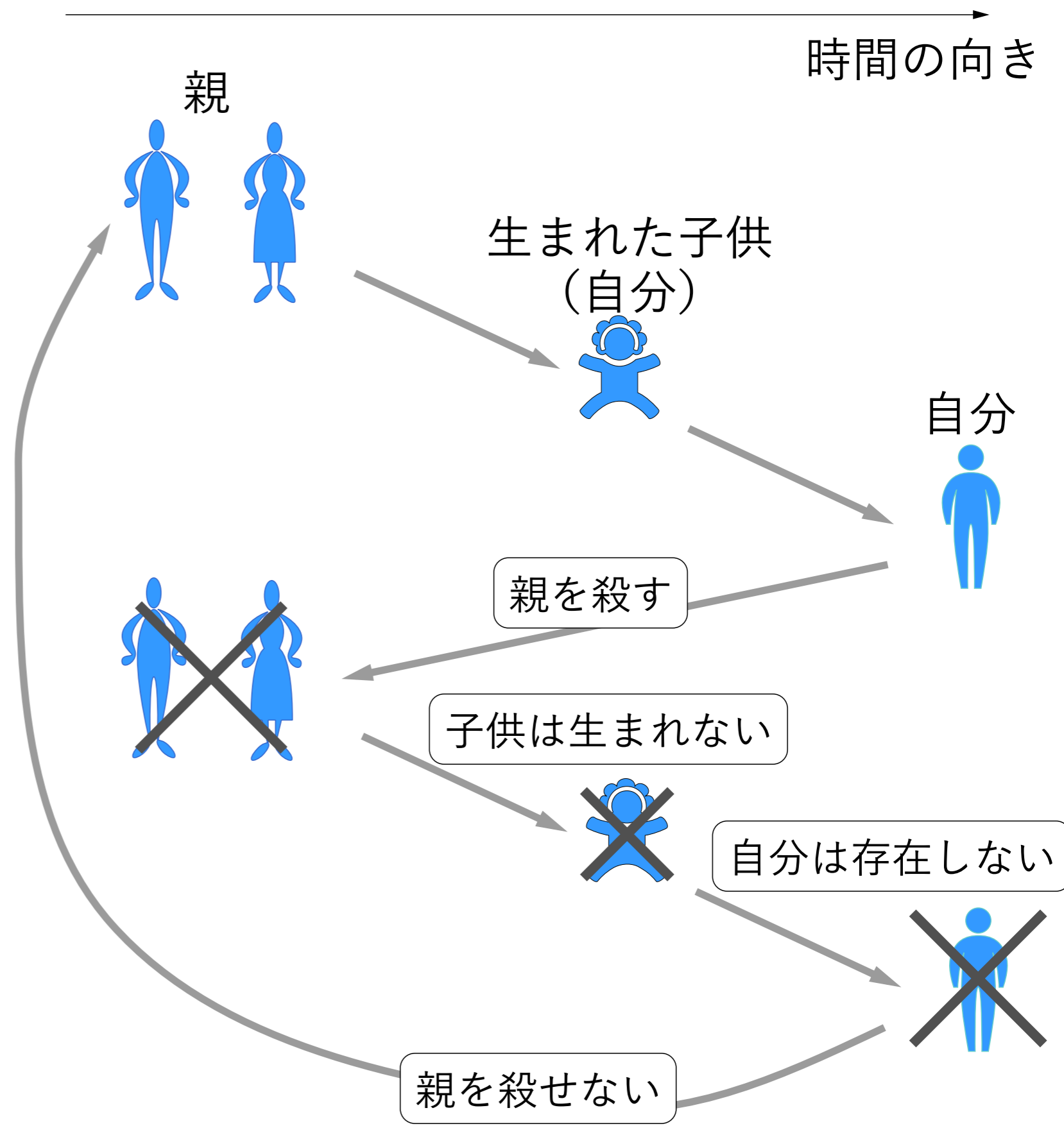
# タイムパラドクスの物理

講師 吉田 伸夫



# 1. タイムパラドクス

- 過去に戻れると、一種のパラドクスが生じる。
- 親殺しのパラドクス：生まれる前の時代に戻って、将来自分の親になる人を殺すとどうなるか？自分は生まれないので、そもそも殺すことができない！
- 結果が原因を変えてしまうため、因果連鎖が破綻する。



## 2. 古典論の時間

○ニュートン力学のような古典論の考え方によると、時間は次のような性質を持つとされる。

(1) 時間は流れている。

唯一の实在である現在が継続的に更新される。

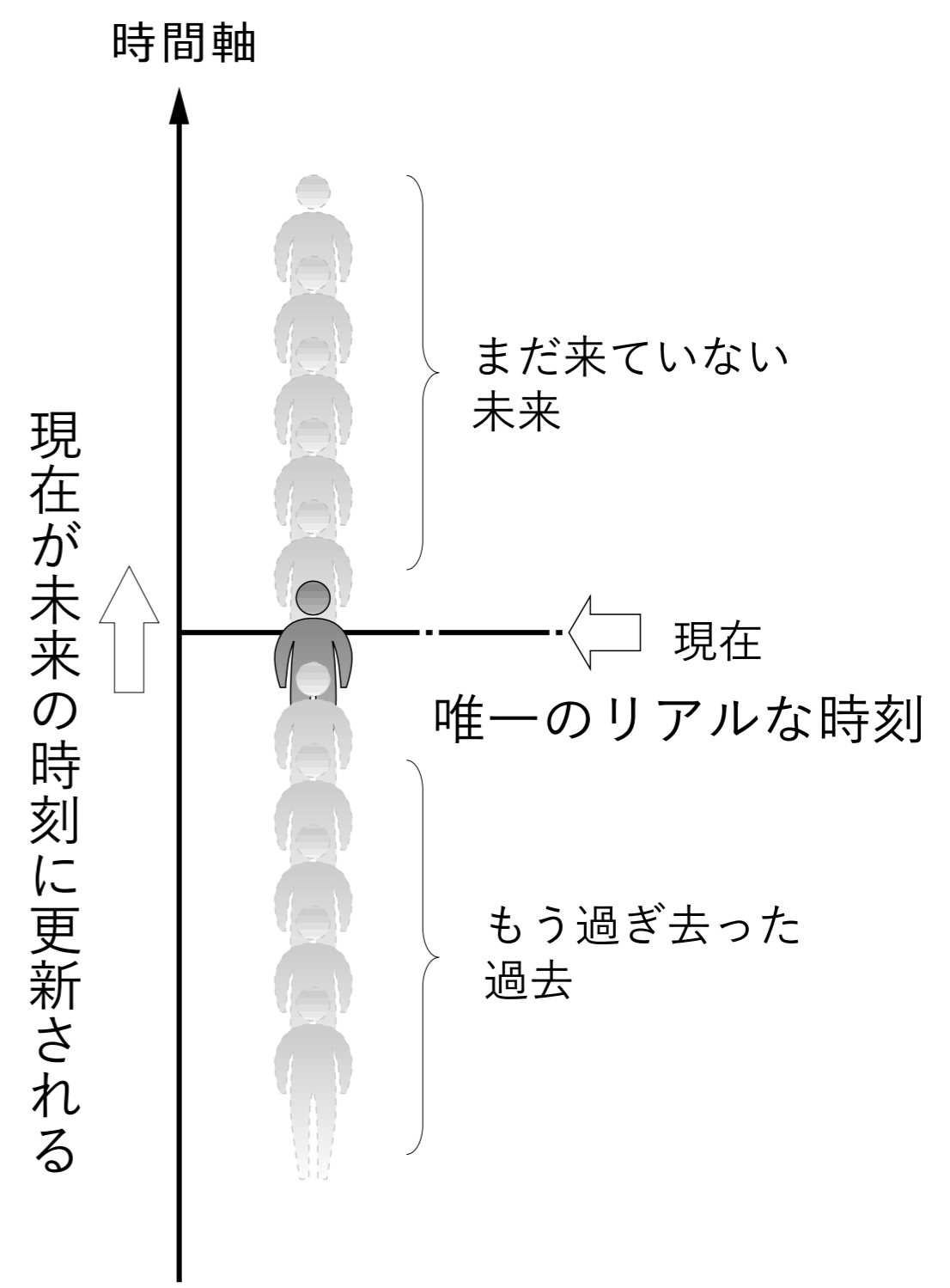
(2) 一意的に順序づけられる。

すべての出来事を、過去から未来へと順番に並べることができる。

(3) 未来は過去によって決まる。

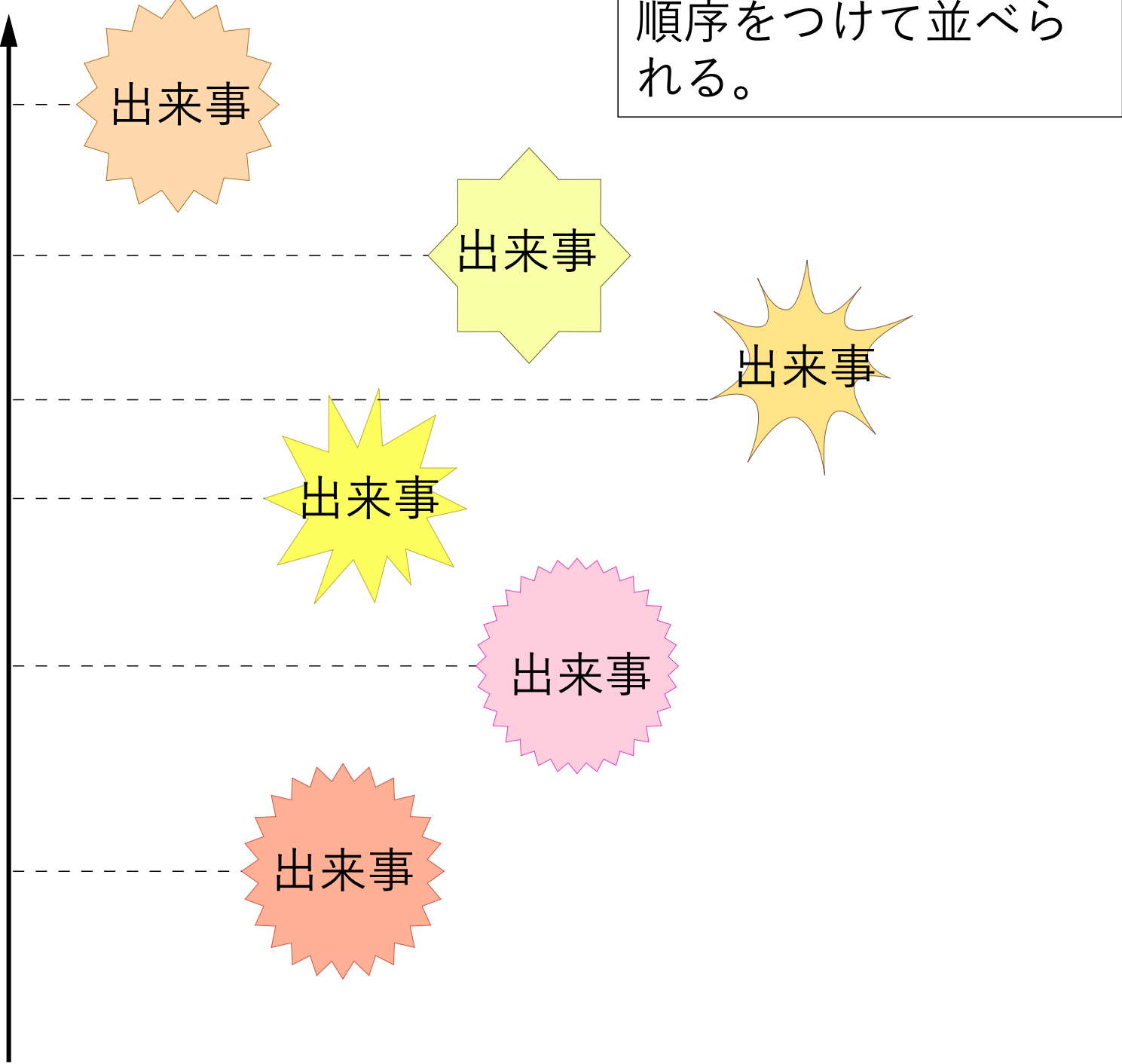
過去が未来を完全に決めるかどうかはわからない。  
しかし、未来が過去に影響を与えることはない。

→これらの性質が常に成り立つなら、タムパラドクスは起こらない。



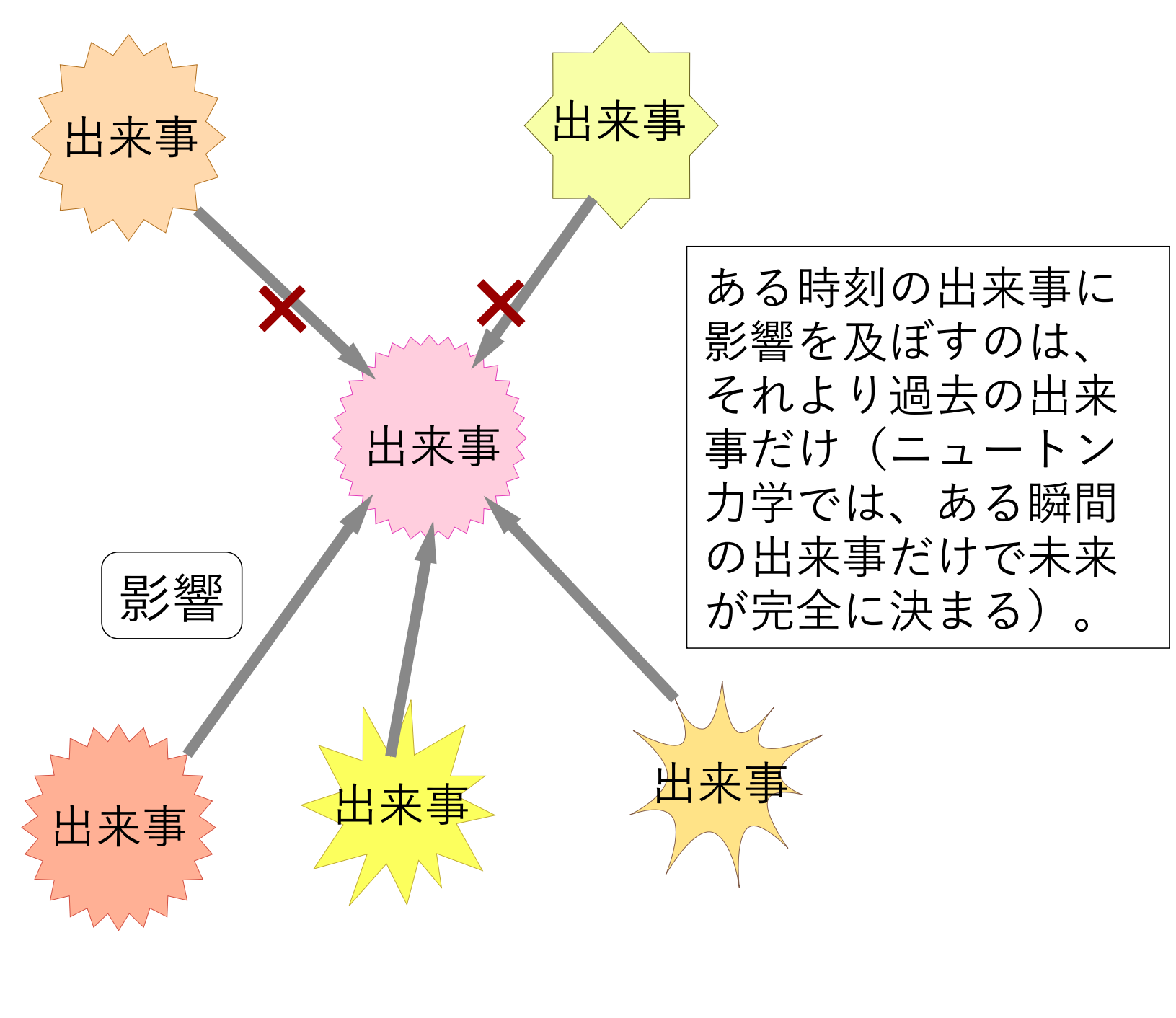
(1) 時間は流れている。

時間軸



(2) 一意的に順序づけられる。

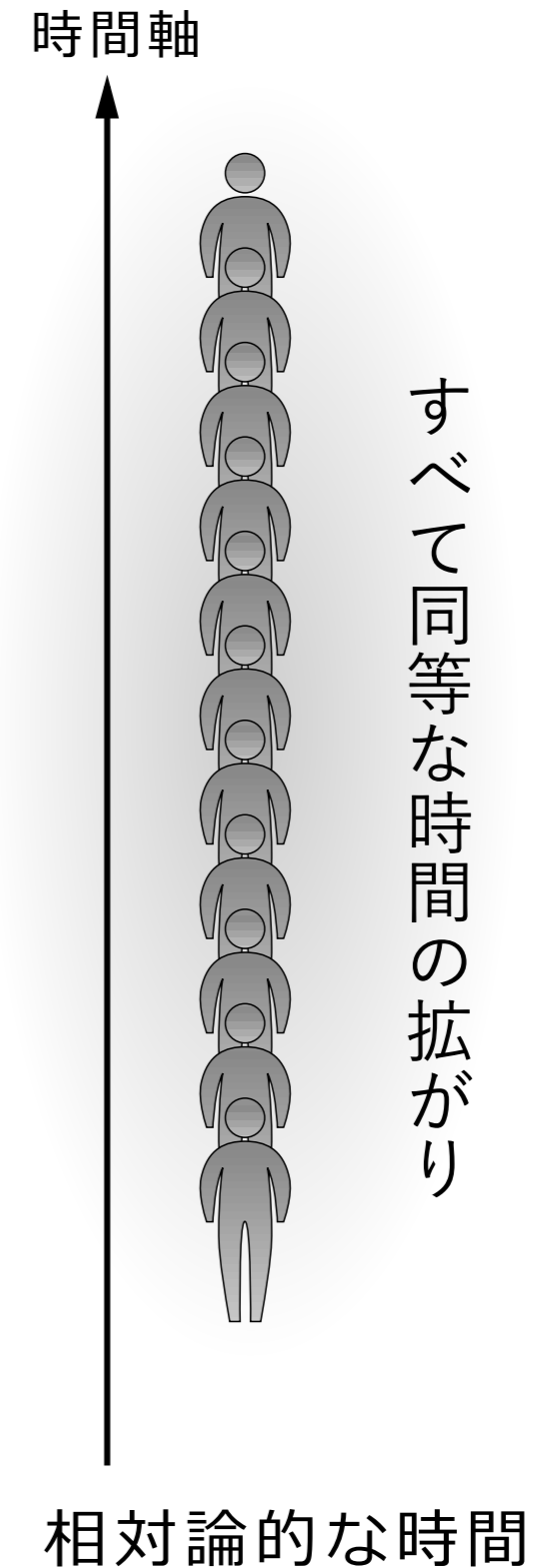
時間軸



(3) 未来は過去によって決まる。

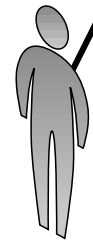
### 3. 現代物理学の時間

- 古典論の時間が持つ(1)~(3)の性質は、現代物理学の時間にはない。
- 一般相対論によれば、時間と空間は一体化して「時空」という実体を構成。時間は、空間と同じ「拡がり」である。
- 時空は、伸縮可能なゴム製のキャンバスのように変形する。物理現象は、エネルギーによって部分的に伸び縮みした時空の上で生起する。



時間軸

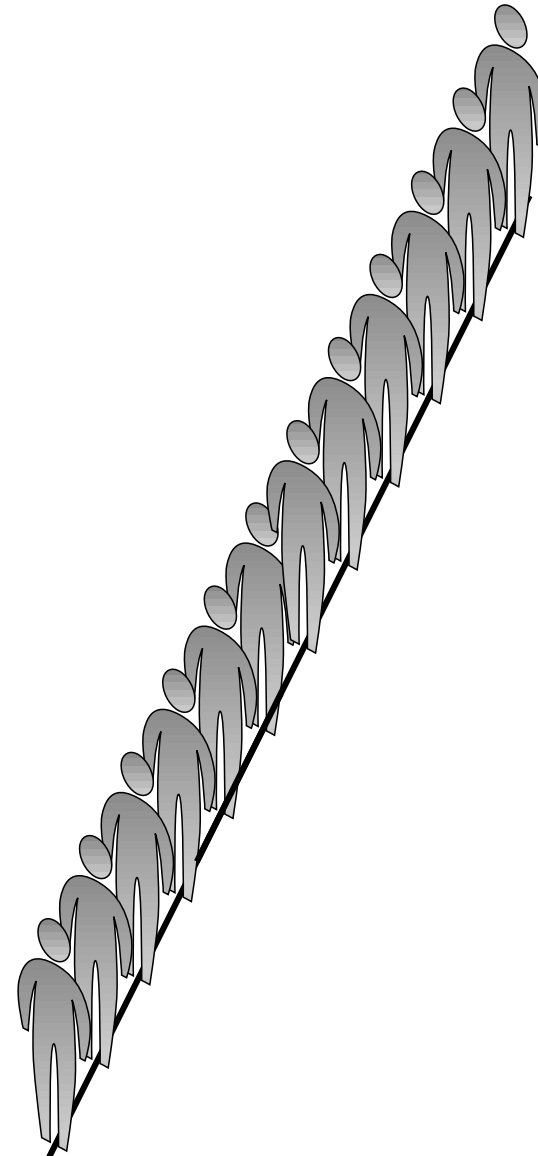
相対論によれば、時間の流れとともに物体が空間内部を移動するのではなく……



空間軸

時間軸

時間と空間それぞれ  
の方向に広がった物  
体が存在する。



空間軸

相対論的な時空

## 4. 円筒形の時空（1）

- 一般相対論では、時空がゴム製のキャンバスのように変形するので、さまざまな形の“宇宙”が可能。
- アインシュタインは、ある方向にまっすぐ進んでいくと、宇宙空間を一周して元に戻ってくる「球面状宇宙」を提案（1917年）。
- 空間の一方方向だけが丸まっているとして、時間と空間を1次元ずつ描くと、円筒形の時空になる。
- 図では、アリスが同じ位置にとどまり、ボブが空間を巡回している。

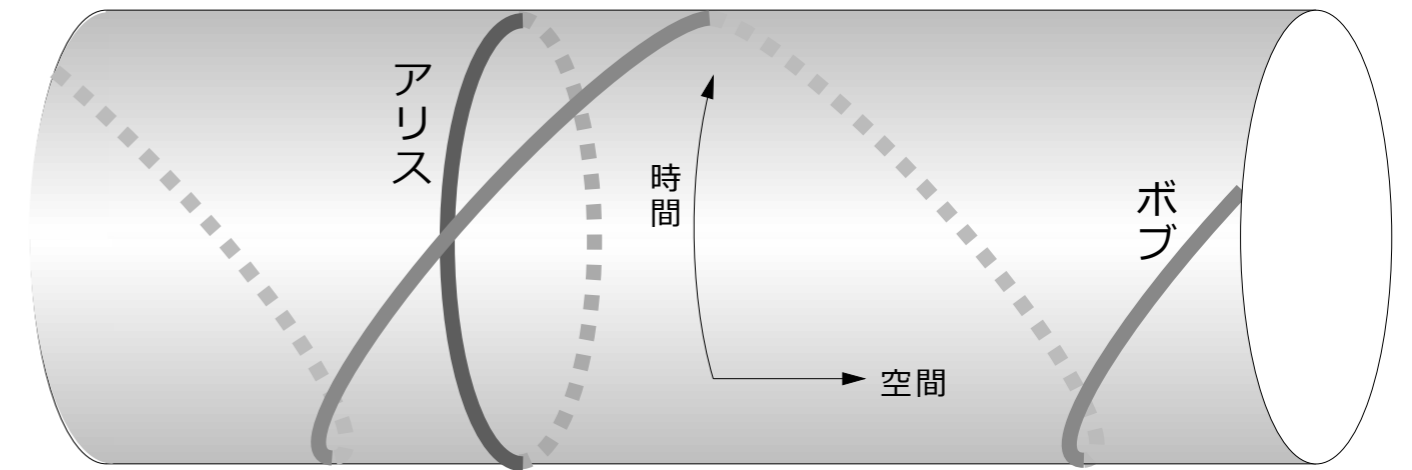


## 5. 円筒形の時空（2）

○ゲーデル（不完全性定理の証明で知られる数学者）は、空間方向に一周できるアインシュタインの宇宙とは異なり、時間方向に一周できる宇宙を提案（1949年）。

○ゲーデルの宇宙は時間と空間が複雑に入り組んでいるが、単純に時間だけが丸まっている場合も考えられる。

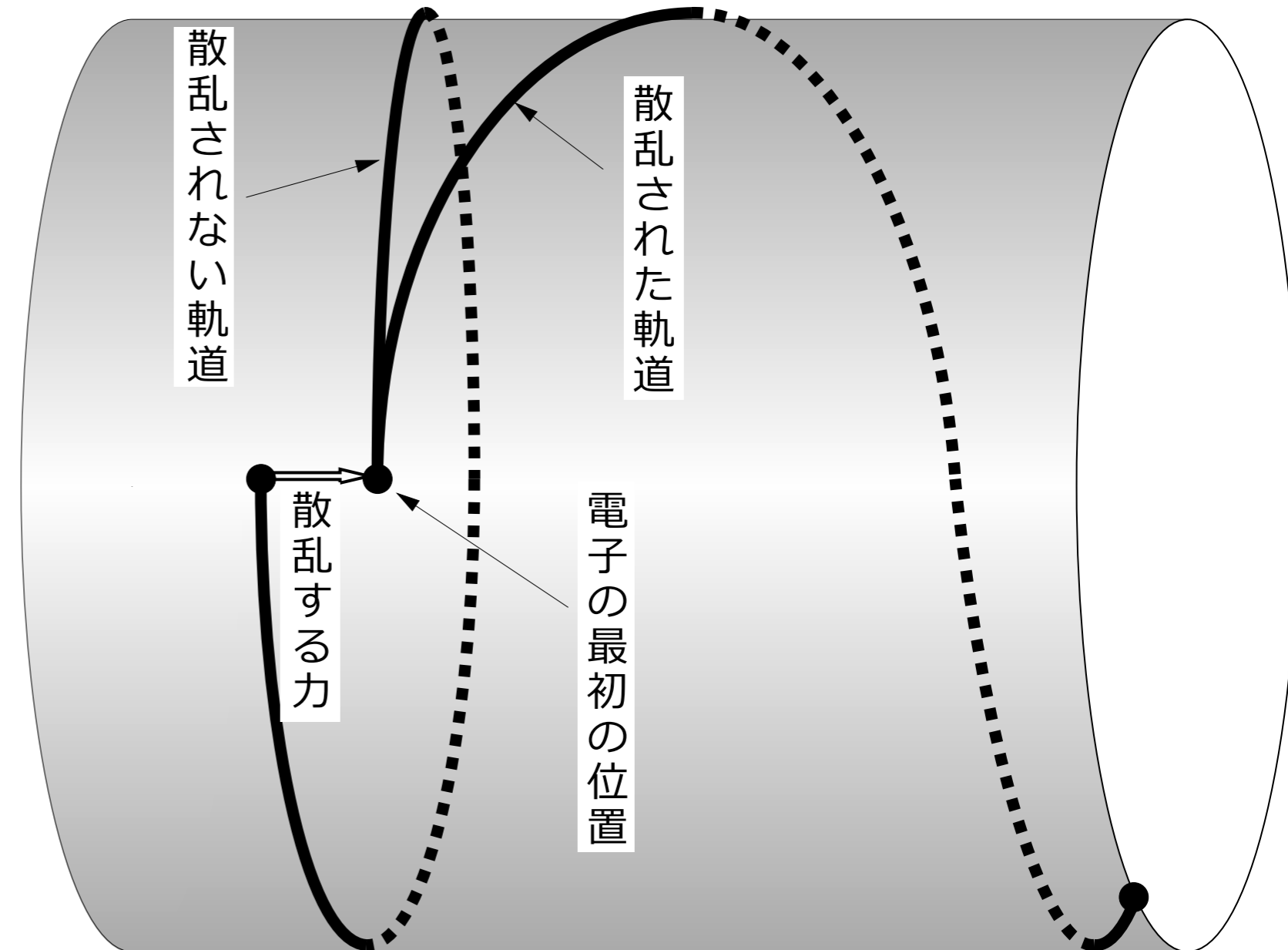
○図では、一人のアリスが同じ状態を何度も繰り返すが、ボブは同じ時刻に何人も存在する。





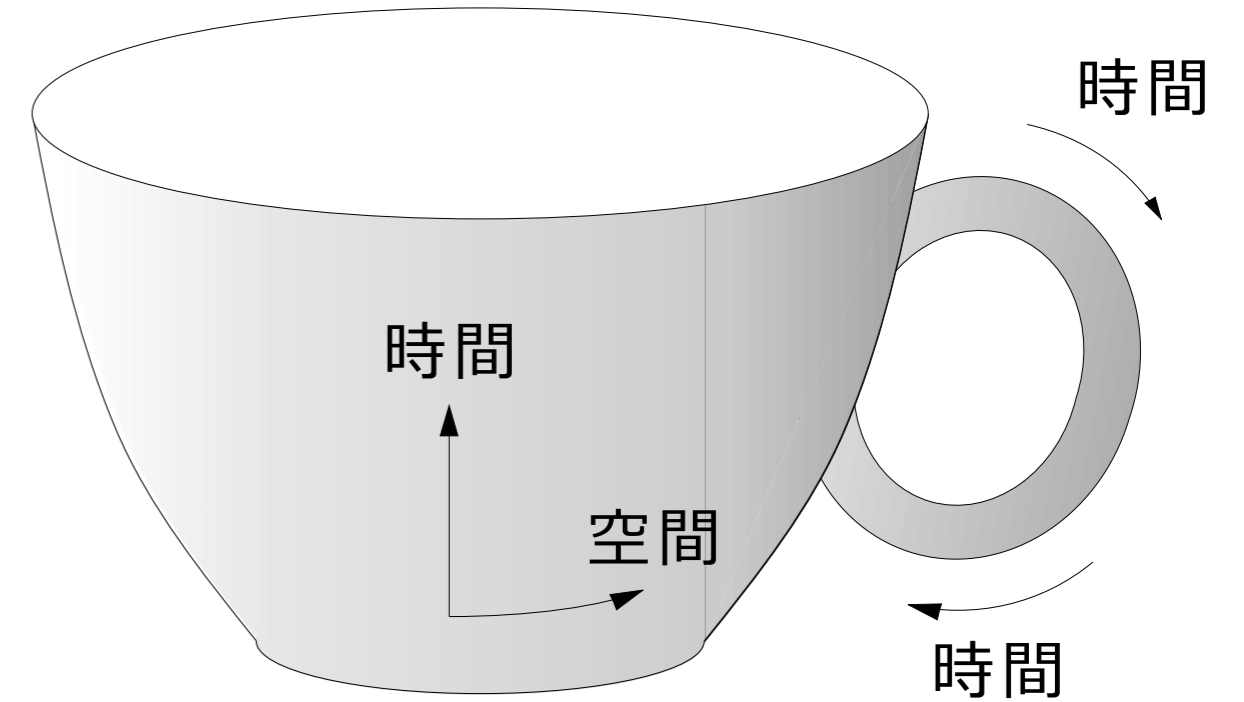
## 6. 物理現象としてのタイムパラドクス

- 時間が丸まった円筒形時空で考えると、電子1個が運動する場合でもパラドクスは生じる。
- 時間を一周した電子が、出発点にいた自分と相互作用して軌道を変えてしまうと、一周したときの位置がずれるため自分との相互作用ができない。
- タイムパラドクスは、どのように行動するかを決める意志や記憶とは無関係。時間が円環を描く時空中で必然的に生じる物理現象。



## 7. 時間が円環になる時空

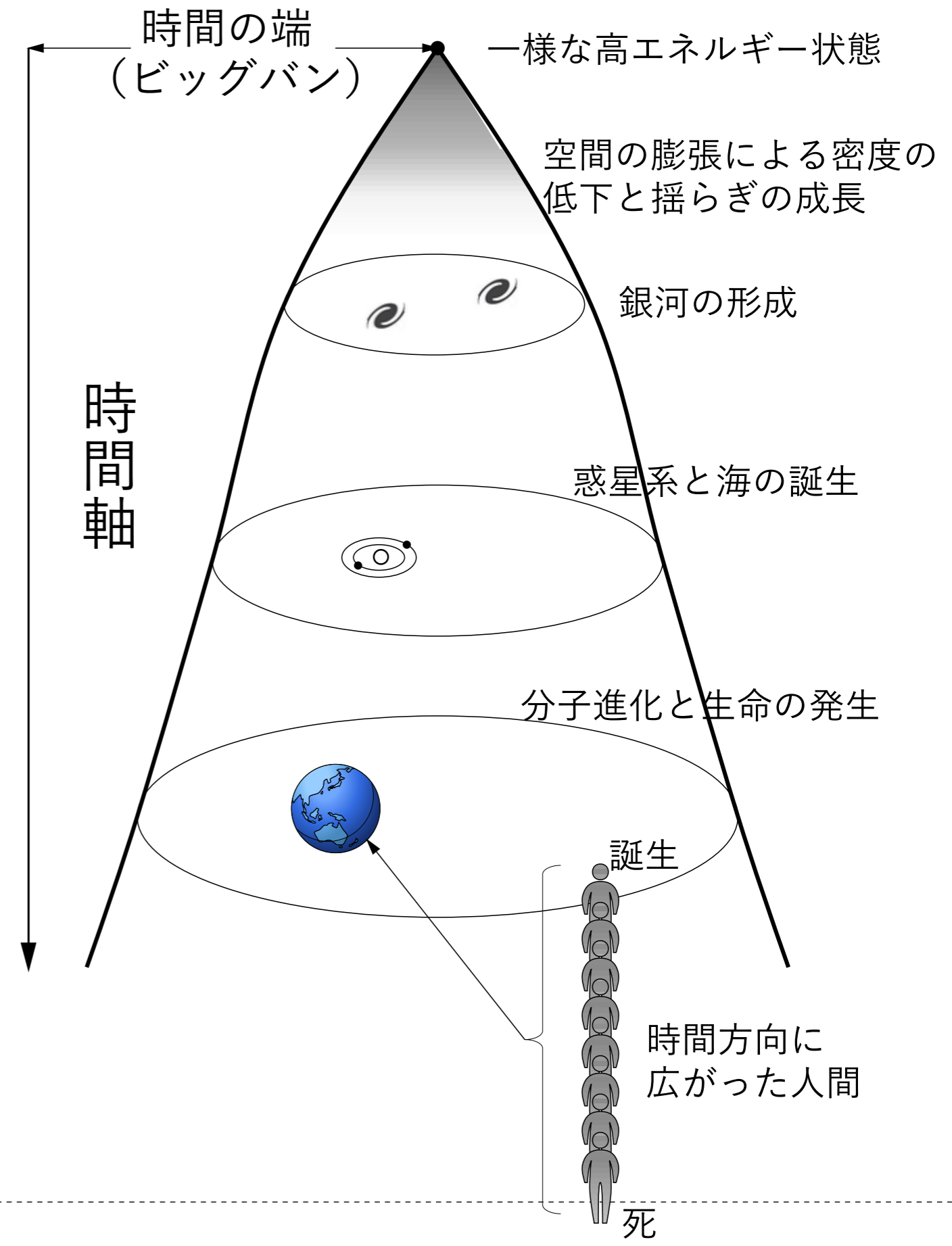
- 円筒形の時空が一般相対論の解になる条件は複雑で、現実的な時空とは言えない。
- しかし、コーヒーカップの取っ手のような局所的な時空構造ならば、物理的に不可能ではない（図はイメージで、この通りの時空構造ではない）。
- 物理学者のゾーンらは、ワームホールの端を加速することで時間が円環になり得ると主張する。



取っ手のある時空  
(イメージ図)

# 8. 過去と未来の再検討

- 「過去は確定しているが未来は未定だ」 ← 本当？
- 一般相対論では、時間は拡がりなので、過去から未来まで定まっていると考えるべき。
- 過去と未来の差は、宇宙において時間軸の“端”となるビッグバンがエントロピー極小状態であることに由来。

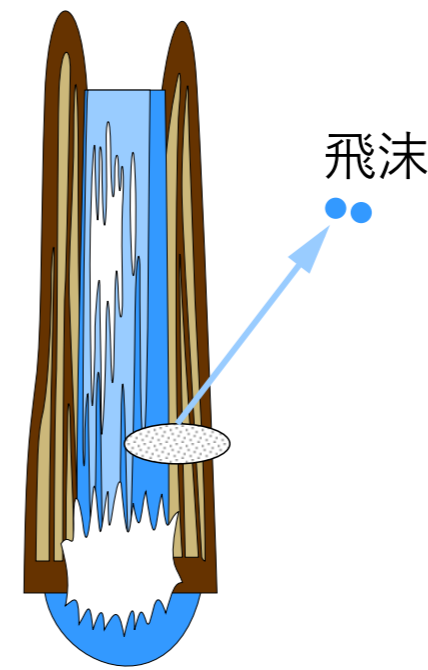


# 9. 記憶の偽証

○「人間に過去の記憶しかないのは過去しか体験していないから」←本当？

○記憶の形成を可能にする高分子は、高温の太陽からの放射が冷たい水に入射する過程に伴ってエントロピーが減少することで生成される。

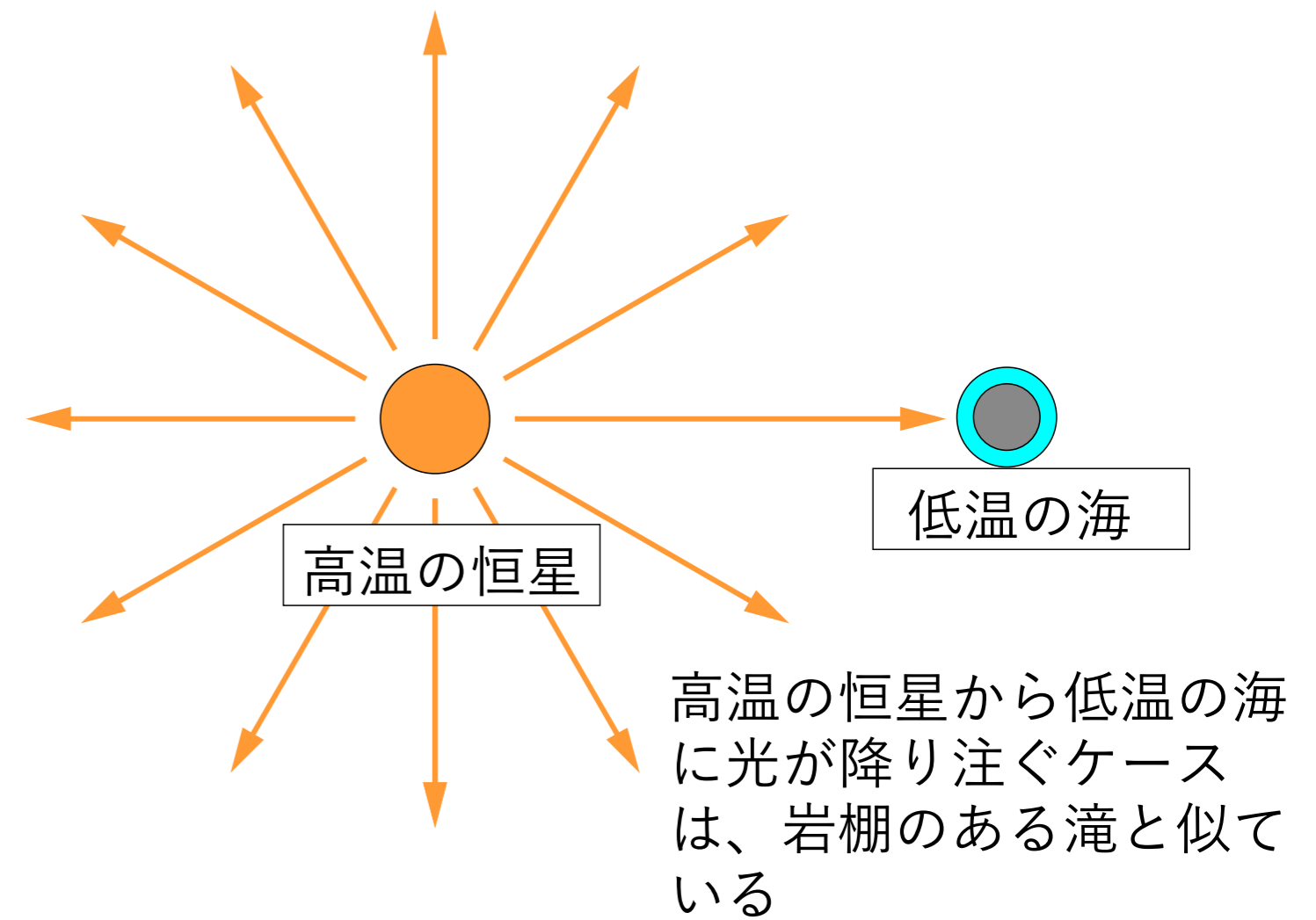
○記憶は、時間軸においてビッグバンに近い側で形成され、遠い側で崩壊する。過去だけを体験したから過去の記憶しかないのではない。



水は高い所から低い所へと流れる

しかし、滝のような大量の水の流れの途中に岩棚があると、跳ね返った飛沫が上昇することもある

大半の水は落下する一方だし、飛沫はいずれ落下するので、物理法則は破られていない



高温の恒星から低温の海に光が降り注ぐケースは、岩棚のある滝と似ている

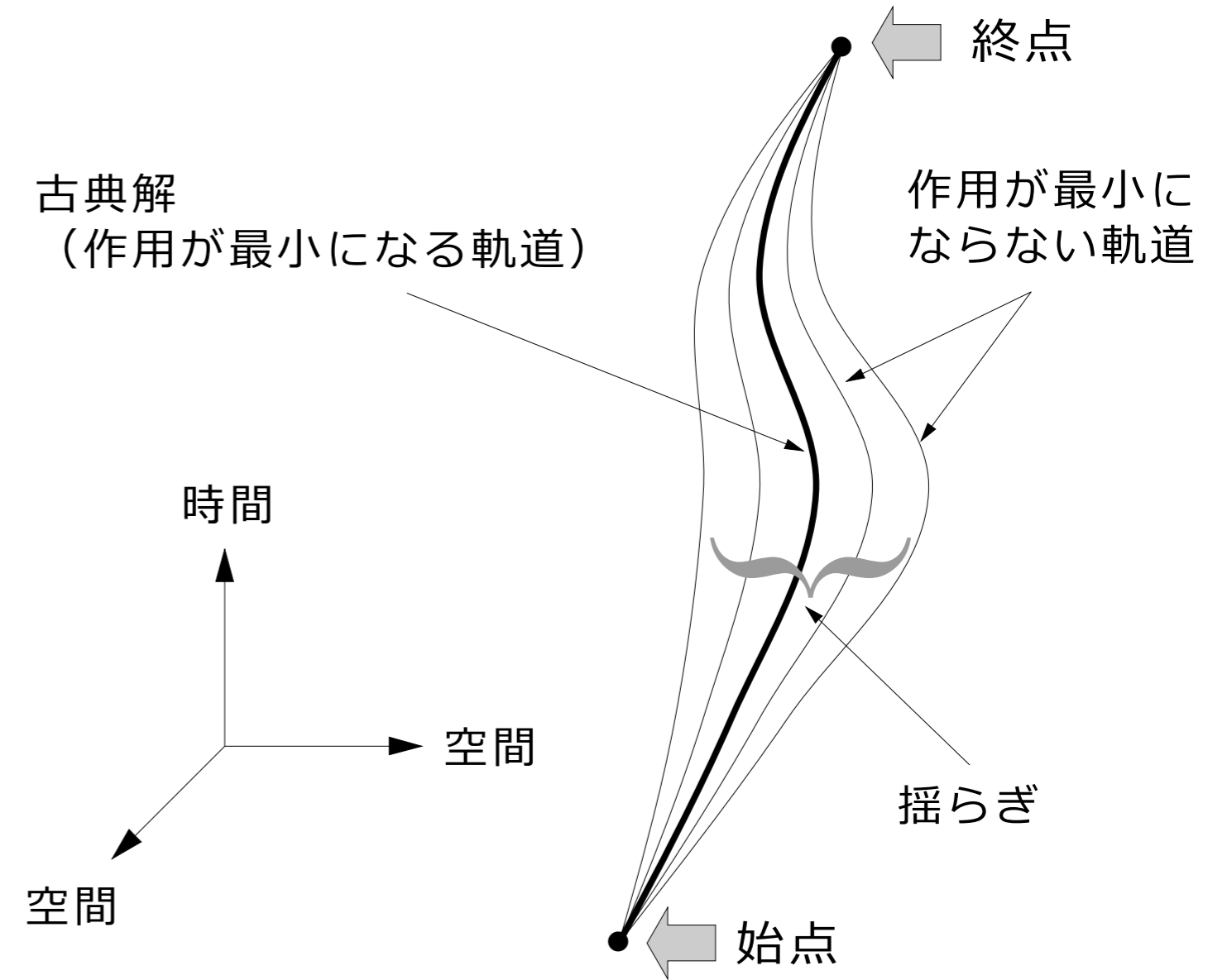
# 10. 量子論の時間

○「出来事は過去から未来に向かって順番に起きる」←本当？

○ニュートン力学では、ある瞬間の状態が与えられると、運動方程式によって次の瞬間の状態が決まる。

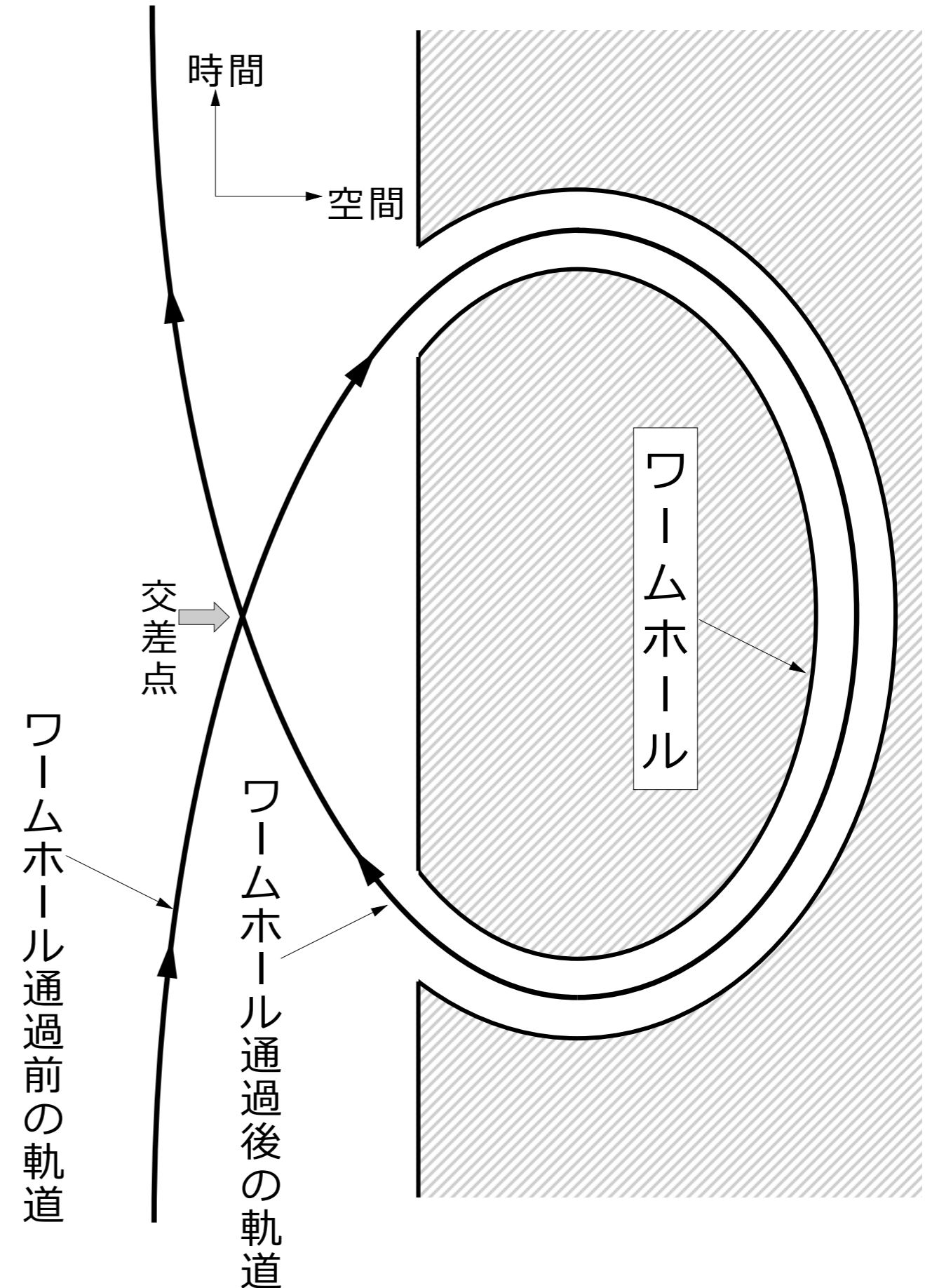
○しかし、現代物理学の基礎とされる量子論では、最初と最後の状態が与えられたとき、これを結ぶ軌道としてどのような揺らぎが生じるかが求められる。

○法則によってではなく、事実として未来が決まる決定論。



# 11.パラドクスの解消

- 未来から過去へと移動できるワームホールがあったとしても、それを通り抜ける電子は、始めから終わりまでどんな過程となるか、量子論に従って決定される。
- 同一の時空点での状態は物理法則によって決定され、時間を一周するたびに異なる状態になることはあり得ない（と予想される）。
- 理論的には、未解決の問題も多い（ワームホールが実在するかどうかなど）。



## 12. タイムパラドクスと人間

○巨視的なワームホールが存在する時空では、高温の恒星と水のある惑星からなる安定したシステムが形成されるのは困難。したがって、知的生命は発生しにくいだろう。

○巨視的なワームホールは一瞬で崩壊するという説も有力。

○知的生命は、あたかも時間が均一に流れるように見える環境でのみ発生。そうした環境が、時間に対する固定された見方を生み出す。

# 今日の講義について

◇物理学で扱う時間について、もう少し詳しく知りたい人は、私が著した次の本を参考にしてください。

『時間はどこから来て、なぜ流れるのか？』（講談社ブルーバックス）

◇宇宙の歴史に関しては、次の本に書いておきました。

『宇宙に「終わり」はあるのか』（講談社ブルーバックス）

◇次のサイトに私のホームページがあります。科学と技術のいろいろなトピックを取り上げています。

<http://scitech.raindrop.jp/>

◇ブログもあります（更新は滞りがち）。内容はホームページから転載したのですが、コメント機能を利用して、質問も受け付けています。

<https://sci-tech.blog.ss-blog.jp/>