

量子レーダ

関田 いづみ
Izumi SEKIDA

1 はじめに

近年、「量子 ICT」に世界中の注目が集まっている。例えば、量子コンピュータは量子の性質を用いており、高速計算を得意とする。量子コンピュータは、従来のコンピュータが解けなかった問題を解くためにつくられた。現在、企業や研究機関での開発が活発に行われている。

また、従来のレーダの弱みを克服する量子レーダが注目されている。量子レーダは、従来の量子レーダよりも精度が高い。そのため、ロシアや中国は軍事目的で利用するために開発を進めている。日本では、雨や霧といった悪天候下でも検出できるレーダとして研究が行われている。本稿では、量子レーダ、活用例および今後の展望について述べる。

2 量子

2.1 量子の概要

量子とは、量子力学において、粒子性と波動性を併せ持つ物質である¹⁾。また、原子よりも小さい物質が量子である。量子の例を Fig. 1 に示す。

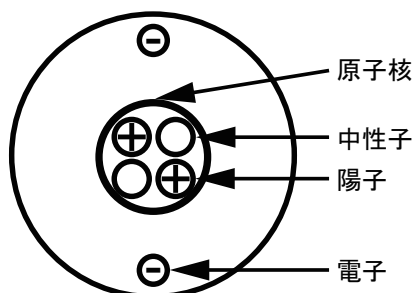


Fig.1 量子の例

Fig. 1 は原子の全体像である。例えば、原子の内側にある、原子核、中性子、陽子、電子などが量子である。

2.2 量子もつれ

その量子の性質として、量子もつれがある。量子もつれとは、ペアになった重ね合わせ状態の量子の性質が、互いに影響し合う現象である²⁾。これは、二つの異なる状態を同時に保持する重ね合わせが関係している。重ね合わせの例を Fig. 2 に示す。

量子にはスピン自由度という特徴がある。スピン状態は二つあり、上向き・下向きと呼ばれている。上向きスピンは左回りに、下向きスピンは右回りに自転している。この二つのスピン状態を同時に保持している状態が、重ね合わせ状態である。このとき観測が行われた場合、重ね合わせ状態は初めて確定した状態へと変化する。この変化のこと

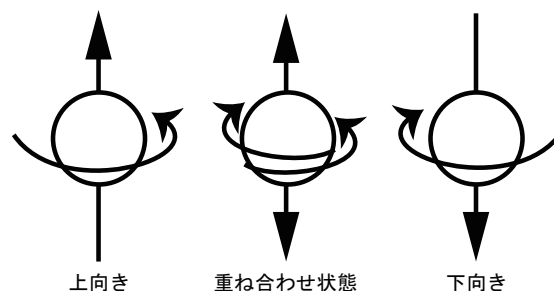


Fig.2 重ね合わせの例

を状態の収縮と呼ぶ。

重ね合わせ状態は、もつれの関係にある量子にも起こる。もつれは、一つの量子が二つの量子に分裂したときの量子間で起こる。二つの量子は、分裂後もペアとして互いに影響を受ける。Fig. 3 に量子もつれのイメージを示す。

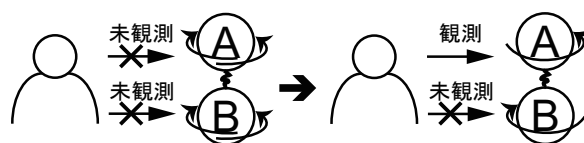


Fig.3 量子もつれのイメージ

Fig. 3 の量子 A と量子 B は、一つの量子の分裂によって生じた量子である。ペアである量子は、互いに重ね合わせ状態である。このとき、量子 A と量子 B は、「片側が上向きならばもう片方は下向きである」という関係が成り立つ。例えば、観測した量子 A が上向きのとき、量子 B は下向きであることが確定する。この量子もつれは、ペアの量子が離れた状態でも成り立つ。量子もつれを利用した技術が、量子レーダである。

3 量子レーダ

3.1 量子レーダの概要

量子レーダとは、量子もつれを利用した技術である。従来のレーダよりも高度な検出が可能であることから、世界中で開発が進められている。ロシアや中国の開発目的は、ステルス戦闘機の検出である。一方日本では、自動運転車の車載カメラとして用いることが期待されている。

3.2 仕組み

量子レーダは、従来のレーダの仕組みと異なる。Fig. 4 に、従来のレーダによる物体検出の仕組みを示す。

Fig. 4 のように、従来のレーダは電波の性質を利用し、対象物の位置や大きさを検出する。レーダの流れを以下に示す。

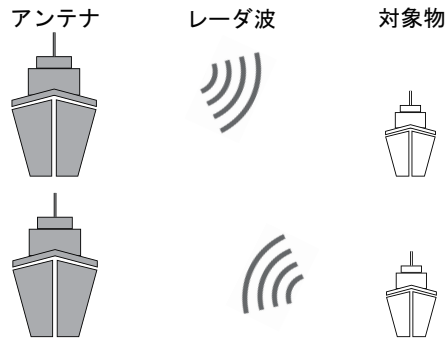


Fig.4 従来のレーダによる物体検出の仕組み

1. アンテナからレーダ波を送信
2. レーダ波が拡散
3. レーダ波が対象物に到達し反射
4. 反射したレーダ波が拡散
5. アンテナにより反射したレーダ波を受信

発信されたレーダ波は拡散し、対象物に到達する。このとき、対象物と触れたレーダ波は反射する。反射した波を解析することによって、対象物の位置や速度、進行方向を把握することができる。

次に、量子レーダの仕組みを Fig. 5 に示す。

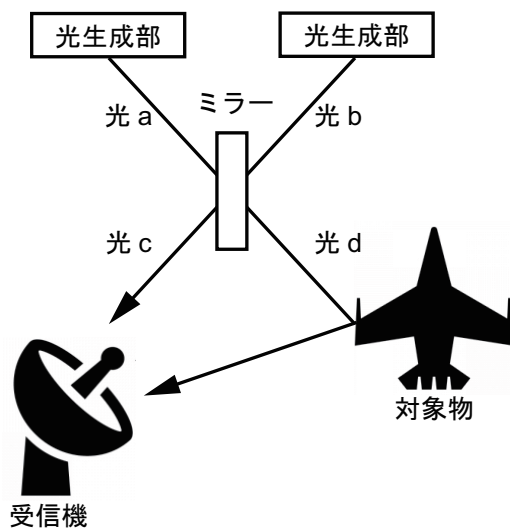


Fig.5 量子レーダの仕組み

Fig. 5 のように、量子レーダは量子の一つである光子間のもつれを利用して対象物の検出を行う³⁾。量子レーダの流れを以下に示す。

1. 光生成部で光 a, b を生成
2. 生成された光 a, b を合波
3. 合波により a, b 間でもつれが発生
4. 光 c を受信機へ送信
5. 光 d を対象物へ発射
6. 対象物から反射した光を受信機で受信

量子レーダは上記の流れで物体検出を行う。まず、光生成部で光を生成する。次に、生成された光 a, b を合波す

る。このとき、合波することで量子もつれが起こる。もつれの関係を持った光が、光 c, d である。光 c は、そのまま受信機へ送り、光 d は対象物へ発射する。対象物から反射した光 d は受信機で受け取る。受信機で受け取った光 c, d のもつれを利用することで、対象物の情報を得ることができる。

3.3 利点

従来のレーダは、雨や霧の影響を受ける点が弱点であった。それに対し、量子レーダは雨や霧などの天候に関係なく対象物の情報を得ることができる。これは、量子もつれによる状態変化が瞬時に起こることが関係している。そのため、雨や霧などの影響を受けずに物体検出が可能である。

3.4 欠点

量子レーダは光を用いる。光は、伝送距離が長くなるにつれ、光雑音や光損失が増大する。そのため、量子レーダによる対象物の検出力が低下する。また、量子レーダの送信側と対象物がともに移動するとき、量子もつれの崩壊が生じる。そのため、量子レーダによる対象物の検出力が低下する。

4 今後の展望

3.1 節で述べたように、ロシアや中国はステルス戦闘機の検出に向けて量子レーダの開発を進めている。ステルス戦闘機は、従来のレーダで検知が容易でないことが特徴である。検出が容易でない原因は、機体の素材と形状にある。ステルス戦闘機の形状は、レーダ波の入射方向とは別の方向へ反射するよう工夫されている。また、機体表面は、電波を吸収する素材で作られている。そのため、反射する電波は弱く、鳥などの小物体との区別が難しい。しかし、量子レーダを用いることで、ステルス戦闘機の素材や形状に関係なく位置が特定できる。そのため、今後の研究の発展により、従来のレーダに代わって量子レーダが利用されると考えられる。

日本では、量子レーダカメラの開発が進められている。量子レーダカメラは、自動運転機能のサポート技術となり得ることが期待されている。従来の車載カメラには、悪天候下での検出精度が低下するという問題がある。しかし、量子もつれを利用すれば、天候に左右されることなく対象物の情報を得ることができる。そのため、モニターに雨や霧が映ることなく、正確に物体を検出できると考えられる。

量子レーダは、未だ研究中の技術であるが、実用化された日には社会に大きな影響を及ぼすと考えられる。

参考文献

- 1) 竹内繁樹, 量子コンピュータ 超並列計算のからくり, 講談社, pp52, 2005
- 2) 古澤明, 量子もつれとは何か, 講談社, pp70, 2011
- 3) 玉川大学 量子情報科学研究所,
<http://www.tamagawa.jp/education/report/detail.8179>,
参照 Apr.27, 2018