

IceCube

アイス キューブ

南極点

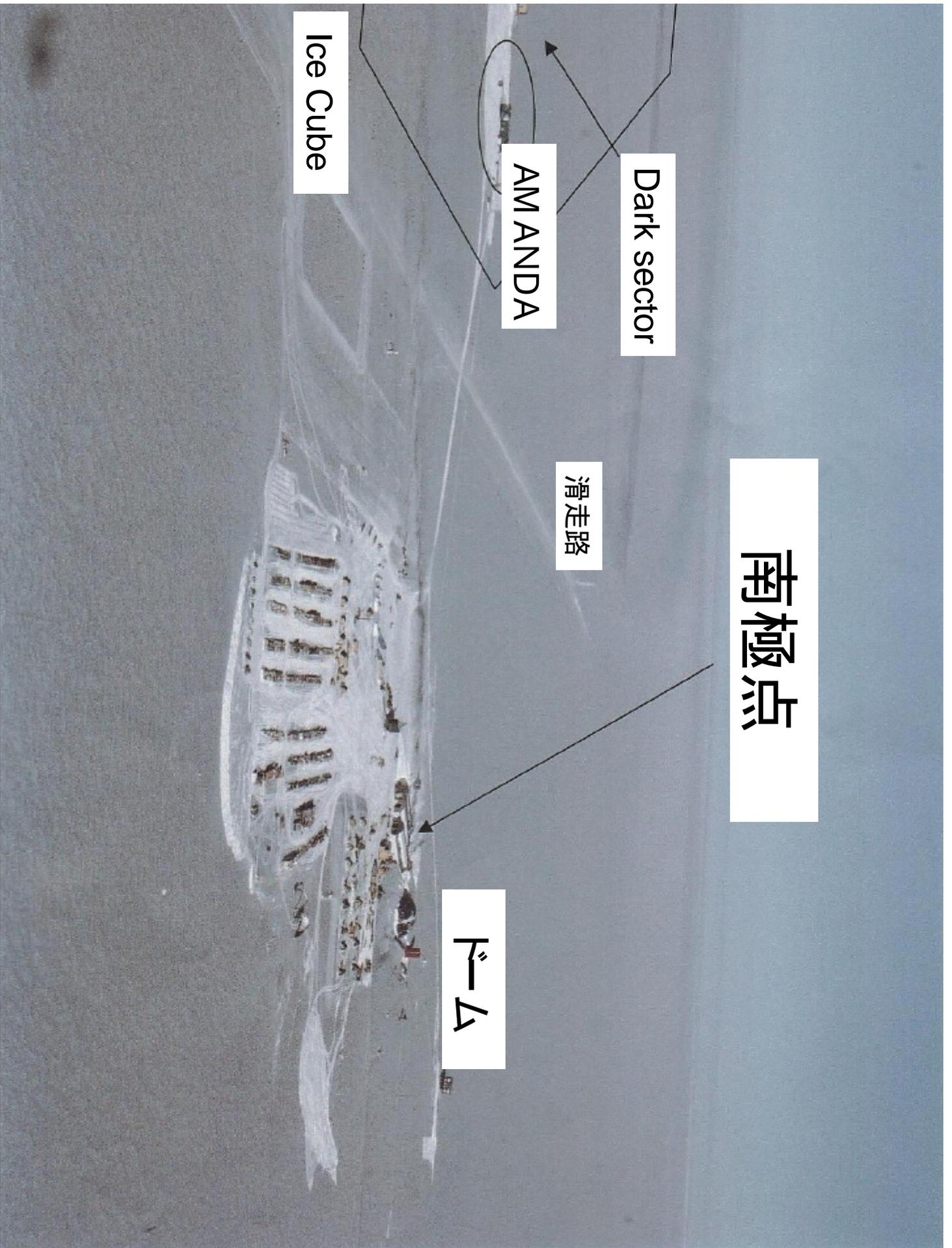
Dark sector

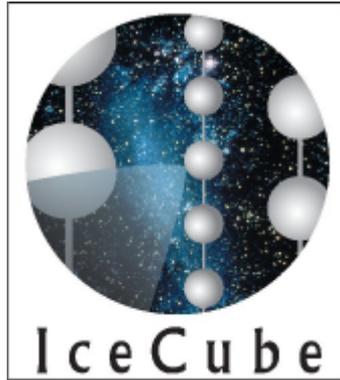
AMANDA

Ice Cube

滑走路

ドーム





<http://icecube.wisc.edu>

A NEW WINDOW

ON THE UNIVERSE

IceCubeは南極に設置された望遠鏡であり地球から宇宙を覗く“新しい窓”となるでしょう。その先駆けである**AMANDA** (下記参照) のように**IceCube**は天体物理学の中で最も強烈な現象 (例えば爆発する星や、ガンマ線バースト、ブラックホールや中性子星を含んだ現象など)を探索してくれるでしょう。**IceCube**望遠鏡はダークマターを探索するための強力なツールとなっており、自然界における最も高いエネルギーの粒子の出所に関連した新しい物理的プロセスを明らかにしてくれるかもしれません。

宇宙に開かれたこの“新しい窓”は光ではなく、ニュートリノと呼ばれる新奇な天文学のメッセンジャーを観測しています。**IceCube**はこの捕らえにくい素粒子が空間を通り抜けるのを検出することで宇宙を調査しています。1950年代より、科学者たちは高エネルギーニュートリノを使用する天文学及び粒子物理学を行うためのケースを建築してきました。それにはキロメートルサイズの観測所が必要であり、大変なチャレンジといえました。

科学者の国際的な共同作業により、最近10年間で最初の高エネルギーニュートリノ望遠鏡を建造し、始動することができました。2000年に完成した、南極ミュオン・ニュートリノ検知配列 (**AMANDA**)は、南極の氷冠の一部を粒子検出器にしたものです。**AMANDA**の科学者たちは、氷の深部に約750の光学センサーを設置しました。これらのセンサーによってニュートリノが氷を通る際に発生する僅かな光のフラッシュを検出します。この極地の氷にほどこしたセッティングは“現代天文学の7つの驚異”(1999)の中で、**AMANDA**が“最も不思議なもの”として選ばれた理由の一つです。

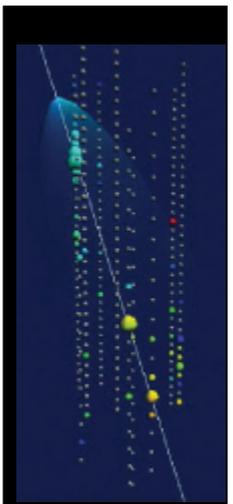
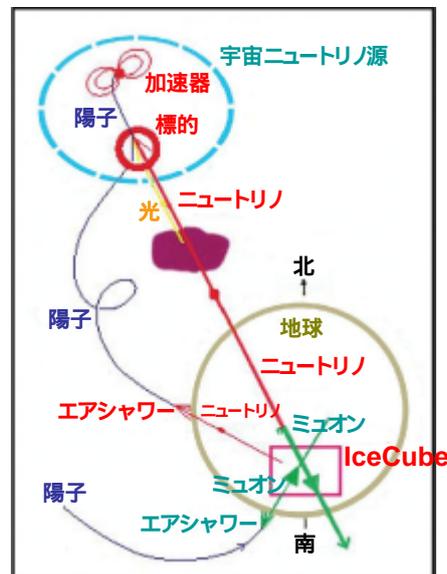
IceCubeは今後どんどん氷を包含していくでしょう。理論家たちは、遠く離れた天文学的・物理学的なソースを研究していくためには、

立方キロメートルサイズの装置が必要だと予想しています。**AMANDA**は地球の北極の近くの大気の中で生じた高エネルギーのニュートリノの検知により、氷の中の望遠鏡の実行可能性を実証しました！**AMANDA**をその概念の根拠として、国際的な共同作業により、宇宙を深く見つめるための**IceCube**を構築しています。

何故宇宙をのぞくため、ニュートリノを使うのか？

ニュートリノは、放射性元素およびバイオンのような素粒子の崩壊によって生じます。他の粒子と異なり、ニュートリノは閉じ込めることが困難で反社会的といえます。ニュートリノのエネルギーと運動量が、放射性の核の崩壊から見つからなかった1930年には最初その存在が疑われていました。最後に観測された1955年まで、ニュートリノは見つかりませんでした。これを発見したのはFrederick Reinesで、ノーベル賞を受賞しています。2001年に太陽の実験により、ニュートリノの質量はごく僅かではあるものの0ではないということが明らかになりました。この不可解な粒子は、未だに粒子物理学、宇宙物理学および宇宙論の最新のトピックのままです。

この問題を抱えたニュートリノを天文学のメッセンジャーとして、ユニークで価値あるものとしているのは、弱い相互作用です。光子あるいは強烈な粒子と異なり、ニュートリノはそれらの出所の深部から出現し、妨害のない宇宙を横切って移動することが出来ます。



IceCube望遠鏡とその先駆け**AMANDA**は高エネルギーのニュートリノのソースを見つけるために光学センサーを使用します。この図は**AMANDA**によって記録されたニュートリノイベントのオンラインディスプレイです。

遠い宇宙の彼方より放射されたニュートリノは地球や宇宙の物質を媒介とし南極の地下に埋め込まれた**IceCube**望遠鏡へと直接入ってきます

IceCubeはAMANDA
(黄色い円柱)を含んでいます。その巨大さにより、検出されたニュートリノの起源を示し得る正確さと、ニュートリノのエネルギーを測定できる能力の両方が向上している。ここでは、粒子の軌跡に沿って時間の経過を示し、赤から紫までの虹色でセンサーに色をつけています。

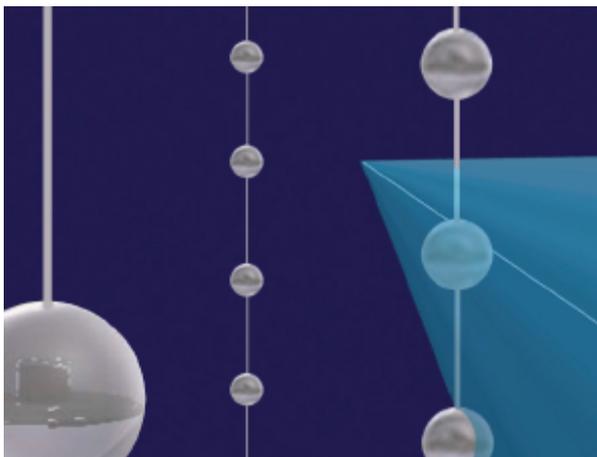
ニュートリノの衝突から出現したミュオンは、ニュートリノの軌道を受け継ぎ、センサーが検出できる青い光を放出します。

南極の地図、南極リサーチのUSARC Atlas提供。厚い氷に覆われた南極はIceCubeにとって最高の場所です。

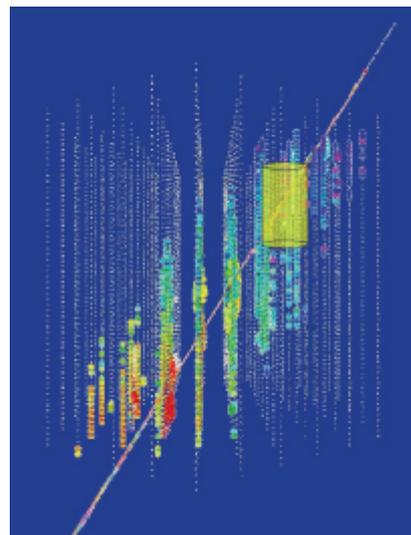
ニュートリノは星間磁場によって曲げられることなく、長い年月をかけても減衰しません。この性質のためニュートリノを検出するのがずっと難しくなっています。そのため、十分な数のニュートリノを見つけニュートリノの本質を知るためには、非常に大きな装置が必要となります。

ミュオン - 見えないニュートリノをどうやって見るのか

私達の体を通るニュートリノは毎秒1兆個にもなりますが、生きている内にその影響を感じる人はいません。私達は実際に南極下の大きな体積を持つ氷を使って、氷の原子に衝突した希少なニュートリノを観測しようとしています。この衝突により、ミュオンという素粒子が飛び出します。巨大で透明な氷の中でミュオンは青い光を放射し、IceCubeの光学センサーはこの光を検出します。ミュオンは元のニュートリノから運動方向を受け継ぐため、ニュートリノがどこからきたのかわかります。科学者がミュオン、またはニュートリノの軌跡を再考できるのは、この光を検出することによってできることなのです。



宇宙ニュートリノに対して何もできないIceCubeによって多数のミュオンがみられるため、右上の図は複雑になっています。宇宙ニュートリノから生まれるミュオンにとっては不運なことですが、検出器の上空の大気では宇宙線によってミュオンが約100万個以上生み出され、IceCubeはそれも検出してしまいます。それらを除くためにAMANDAとIceCubeのような望遠鏡は、ニュートリノはその他の物質との相互作用が非常に弱いという性質を利用しています。ニュートリノは地球からの影響を受けることなく通り過ぎることのできる、唯一の素粒子として知られているため、ニュートリノを選別するフィルターとして地球を利用しAMANDAとIceCubeは地球越しに北部空を見えています。



なぜ南極の氷なのか？

ニュートリノ望遠鏡は次のようなものです：

- ・希少銀河ニュートリノと銀河外ニュートリノが通過する際にいくつかは相互作用するのに十分な大きさ
- ・光が幅広く配置された光学センサーの配列を通れるのに十分な透明度
- ・ニュートリノの光が妨害されないくらい暗い暗さ
- ・南半球からの宇宙線の妨害を避けられるほどの地球表面からの深さ
- ・そして、建設できるくらいの安さ

氷の暗い海や深い場所だけがこの制約に全て合います。すなわち、南極の氷はニュートリノを検出するのに最適なものです。例外的に、純粋で透明、さらに放射能もありません。地表から1マイル下、または暗い氷の中では、青い光は100メートルかそれ以上突き進みます。事実、望遠鏡のためにさらなる遠隔地を見つけるのは困難です。しかし、AMANDA

での経験から、南極が厳しい環境であることより、その利点のほうが重要であることがはっきりと実証されてきました。AMANDAとIceCubeは：

- ・氷の厚く安定した表面から、船よりもずっとセンサーを展開できる。
- ・望遠鏡上に直接収容された電気機器の法が、数マイル離れた遠方の海岸ステーションよりもずっとデータを集めることができる。
- ・そして、最近一新されたU.S. Amundsen-Scott南極ステーションの組織を利用できる。

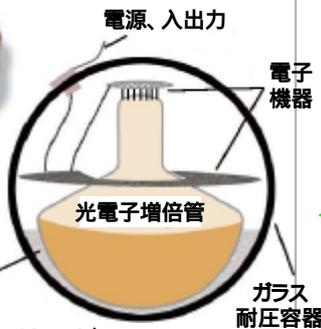




氷に覆われたIceCubeは最も大きく最も耐久性のあるばかりでなく、1トンあたりがちょうど25セントという破格の検出器です。

IceCubeでどのようにニュートリノを「のぞくのか」?

先駆けであるAMANDAのように、IceCubeの基本部分は、光を電気信号に変えるセンサーです。そのセンサーとは光電子増倍管で、ガラスの耐圧容器に覆われています。IceCubeでは5000もの増倍管を配置しています。IceCubeに用いられている技術はAMANDAを進歩させたものです。IceCubeは、すべてのセンサーが科学者のオフィスにネットワークでつながっているという賢



い「センサーをもってIceCubeを数キロにわたってセンサーが連続的につながったコンピュータであると考えても空想ではありません。

まるでビーズを糸に通すように60もの光学モジュール(光電子増倍管入りガラス容器)を長い電気ケーブルに取り付けます。ケーブルは地表にある信号処理施設につながっています。この



線を配置するために、掘削班は5メガワットもの温水ジェットを使い、0.5メートル強の半径、24キロメートルの

深さの穴を開けます。そして、穴の水が再び凍る前にセンサーをつけたケーブルを降ろします。IceCubeは、AMANDA建設時に発展させた掘削技術を利用することにより、60の光学センサーをつけた80ものケーブルを毎年配置し、これを



Amundsen-Scott南極ステーションでの夏の掘削キャンプ

暫定の氷穴に降りるため、装備を準備しているEva Dahlberg

ちょうど6年間続け検出器を完成させるという意欲的なスケジュールを達成することができました。進歩したデジタルセンサー技術は望遠鏡の全体の大きさとあわせて、IceCubeの科学的な潜在能力をその先駆者であるAMANDAを超越したものに押し上げることでしよう

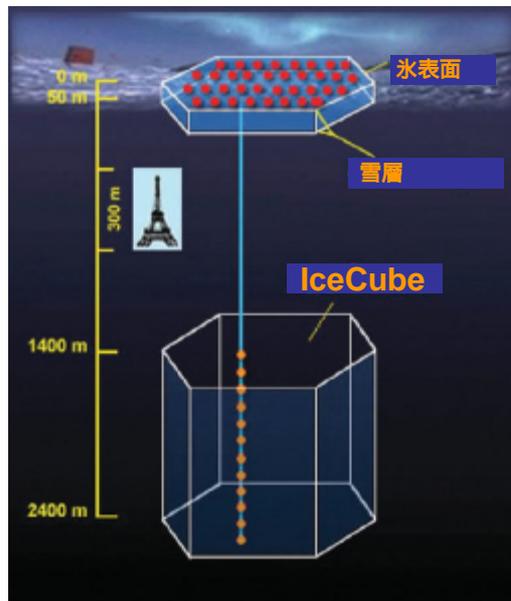
果て無き開拓

電荷を持たず、物質ともあまり反応しないニュートリノは、天文学の特別なメッセンジャーです。というのも、宇宙の端もしくはブラックホールを中心での強烈な天体現象の情報だけを直接運んでくれるからです。

天文学の歴史は、新しいエネルギー域での研究が全く予知できない出来事を常にもたらすことを示してきました。宇宙を新しい窓を通して見ることで、IceCubeは宇宙の理解を新たに開拓するような発見を約束します。

各光学モジュールはガラスの対圧容器に内蔵された光電子増倍管で構成されます。

IceCubeは1立方kmの体積を占めます。ここでは、光学装置の80の配列のうち1つを示しています。(数や大きさはおよその値です)



光学装置はビーズのように1列に電気ケーブルにつながれ、氷面下1500m以下で凍らされます。

RESEARCH

DISCOVERY

教育と社会奉仕

AMANDAやIceCubeの科学者・エンジニア達は、これらのユニークな装置からデータを構築し、分析するだけが仕事ではありません。彼らは他の人たちが、彼らの感じた学習の喜びや発見の興奮を体感することが出来る様努力もしています。新しい装置の開発に伴う科学の発展と平行して、学生や一般の人達がそれを知り、参加する方法に改良が必要だと信じています。The IceCube Education Resource



Center (アイスキューブ教育資源センター)ではこれらの科学者達が優れた教育の資源を開発し、この粒子物理学の新しいフロンティアに興味をもった人々とコミュニケーションする方法を生みだすことの手助けをしています。

参加している機関

千葉大学, 日本

Clark Atlanta University, USA
DESY-Zeuthen, Germany
Institute for Advanced Study, USA
Lawrence Berkeley National Laboratory, USA
South Pole Station, Antarctica
Southern University and A&M College, USA
Stockholm Universitet, Sweden
Universitat Mainz, Germany
Universitat Wuppertal, Germany
Universite Libre de Bruxelles, Belgium

Universite de Mons-Hainaut, Belgium
University of Alabama, USA
University of California-Berkeley, USA
University of Delaware, USA
University of Kansas, USA
University of Maryland, USA
University of Pennsylvania, USA
University of Wisconsin-Madison, USA
University of Wisconsin-River Falls, USA
Uppsala Universitet, Sweden
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

AMANDA/IceCubeを支援している機関

- German Ministry of Research and Education
- German Research Foundation (DFG)
- Knut and Alice Wallenberg Foundation, Sweden
- National Fund for Scientific Research, Belgium
- Swedish Natural Science Research Council
- Swedish Polar Research Secretariat
- U.S. National Energy Research Scientific Computing Center
(supported by the Office of Energy Research of the U.S. Department of Energy)
- U.S. National Science Foundation, Office of Polar Programs
- U.S. National Science Foundation, Physics Division

LEARNING

EDUCATION

<http://icecube.wisc.edu/>

→
物理大学院
生Jodi
Cooley (右
側)が高校
物理学生に
光電子増倍
管チューブ
(各ガラスモ
ジュールに
収容された
光学セン
サー)の作
用を説明し
ているところ



IceCube