

論文内容の要旨

Dark Matter Search Experiment in a Deep Underground Laboratory with LiF Bolometer

フッ化リチウムボロメータを用いた 大深度地下実験室における暗黒物質探索実験

身内賢太朗

暗黒物質の検出は、素粒子、宇宙物理にまたがる大きな課題であり、直接、間接を合わせて、数多くの実験が現在までに行われている。我々は、フッ化リチウムをターゲットとしたボロメータを用いた暗黒物質検出器を開発、超対称性理論によって予言されている粒子、ニュートラリーノの直接検出を目指して実験を行った。ニュートラリーノによって予想されるイベントレートは極めて低いため、我々は宇宙線の影響のない大地下深度の実験室である神岡地下実験室で測定を行なった。

現在世界で行われている暗黒物質直接探索実験は、いずれも暗黒物質と原子核の弾性散乱を利用、原子核に与えられた反跳エネルギーを何らかの方法で捉える、という手法が用いられている。1998年頃からイタリアのミラノ大を中心とする DAMA グループが、暗黒物質の直接検出に成功したと報告している。彼等は NaI シンチレーターによって得られたスペクトルの季節変動を検出の証拠としている。

ニュートラリーノと原子核の弾性散乱は、スピンの依存しない項とスピンに依存した項の和であり、どちらの項が観測にかかりやすいかは、超対称性理論のパラメータ依存となるため予言することはできない。

我々は、スピンに依存した相互作用による検出を目指して、フッ化リチウムボロメータを開発した。2000年には、DAMA グループの実験結果をスピンに依存した相互作用によるものと解釈した論文が発表されており、この領域の探索も我々の実験の目的の一つである。

ターゲット物質とニュートラリーノなどの弾性散乱による温度上昇を捉える極低温粒子検出器、ボロメータは、低閾値、高分解能、クエンチング無し、という特徴とともに、絶縁体の中から比較的自由にターゲット物質を選べるという特徴がある。我々はニュートラリーノとの反応率が高いと予想されている ^{19}F を含む物質として、フッ化リチウムを選択、検出器とした。図 1 に我々の検出器の写真を示す。我々は 21g のフッ化リチウム結晶を 8 個使い、2001 年 11 月から測定を行なった。検出器のうちの 2 つは抵抗温度計のテスト用のために搭載した。

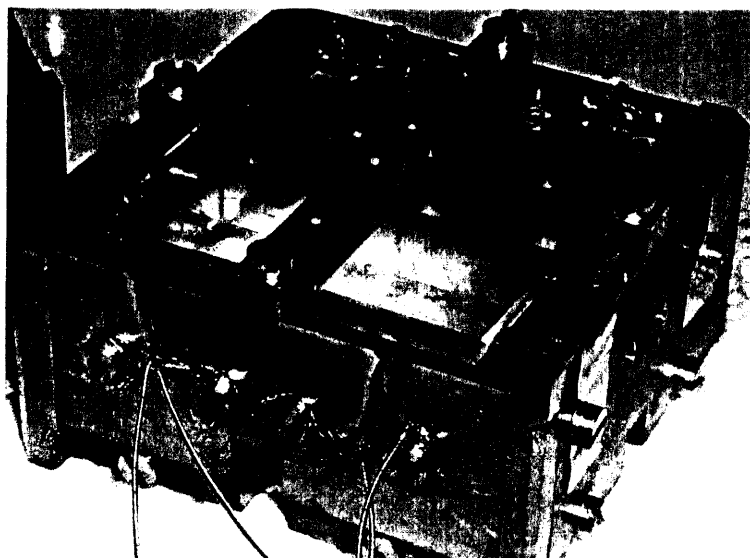


図 1: 本実験に用いたフッ化リチウムボロメータ。無酸素銅ホルダーに、透明なフッ化リチウム結晶が 4 つ、スプリングピンで取り付けられている。これを 2 段重ねて使用、合計 8 個の検出器を用いた。

我々は約 2 週間の測定で図 2 に示すようなエネルギースペクトルを得た。得られたスペクトルを解析することで、ニュートラリーノと陽子のスピンの依存した散乱断面積のニュートラリーノの質量に対する制限曲線を得た。得られた制限曲線を図 3 に示す。各制限曲線の上側が 90% の信頼度で排除されている。我々の実験は 28GeVc^{-2} のニュートラリーノに対して 21pb の制限をつけた。

我々は更にニュートラリーノと核子とのスピンの依存したカップリングに関する制限を計算、DAMA の結果と比較した。その結果を図 4 に示す。縦軸はニュートラリーノと中性子とのカップリング、横軸はニュートラリーノと陽子とのカップリングである。赤線の内側が我々の実験で許される範囲、青線の内側が DAMA 実験で許される範囲である。30, 50, 60, 80GeVc^{-2} のニュートラリーノに関しては、DAMA 実験の付けた下限値も示している。本実験では 15 及び 100GeVc^{-2} のニュートラリーノに関して DAMA の実験によって排除されない部分の多くを排除している。また、 50GeVc^{-2} 以上の質量を持つニュートラリーノに関しては、DAMA 実験の季節変化で許されたパラメータ領域の一部を排除している。

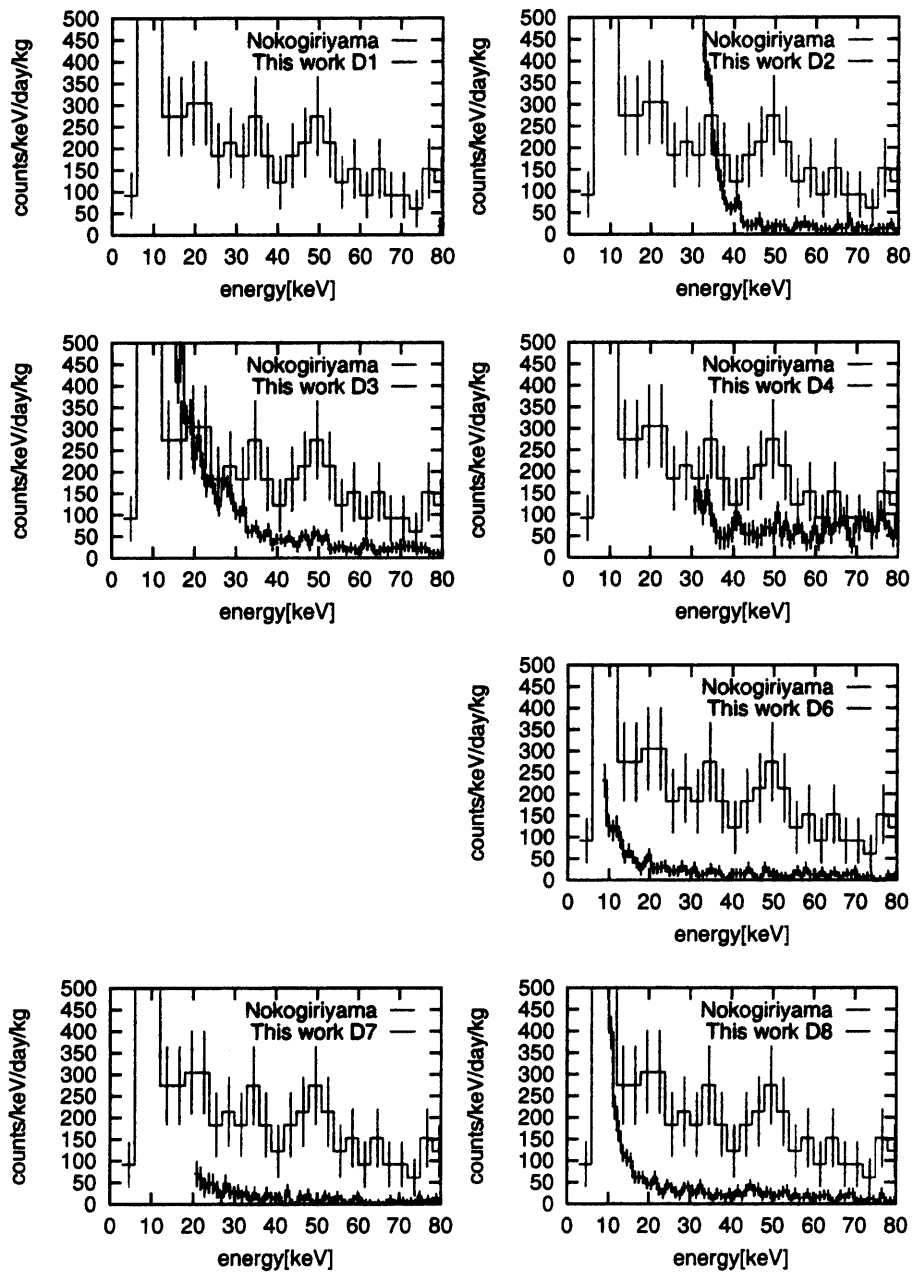


図 2: 7 個のボロメータで得られたエネルギースペクトル。本実験の結果を赤、鋸山地下実験室で行われたパイロットランの結果を緑で示す。

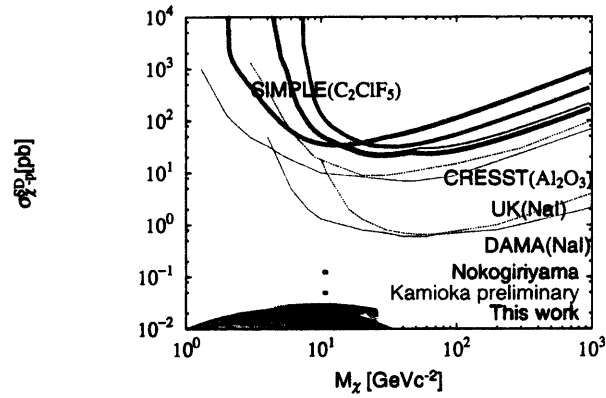


図 3: ニュートラリーノと陽子のスピに依存した散乱断面積の制限曲線。各曲線の上側が 90% の信頼度で排除されている。

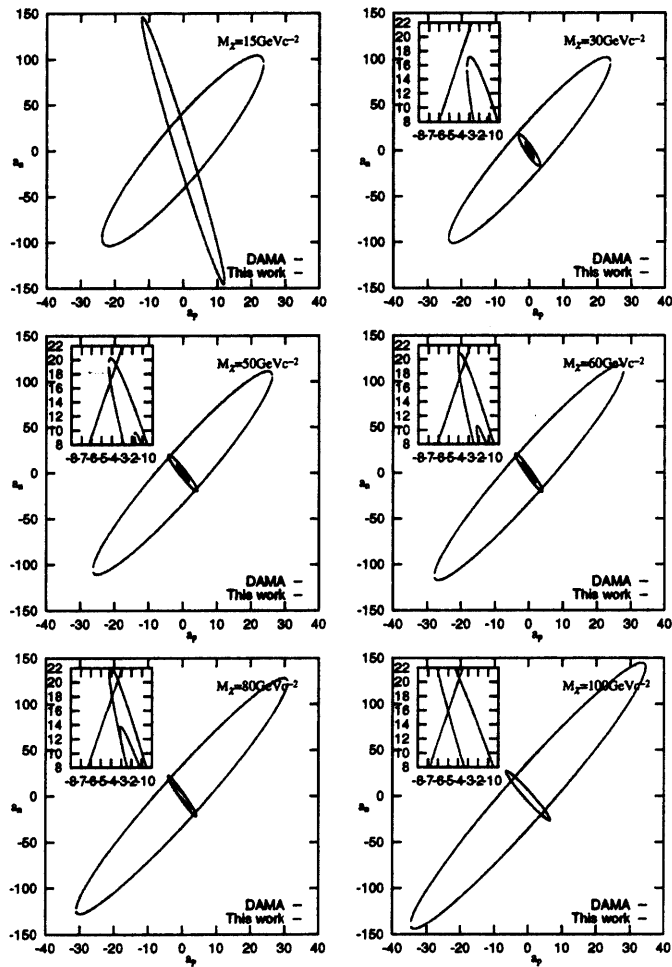


図 4: ニュートラリーノと核子のカップリングに関する制限図。縦軸はニュートラリーノと中性子とのカップリング、横軸はニュートラリーノと陽子とのカップリングである。それぞれの曲線の内側が各実験によって許される範囲である。