



スピルリナプロジェクト - 乳幼児栄養不良に対する効果測定調査
報告書

ザンビア共和国チョングウェ郡カナカンタパ村



2013年6月13日

Programme Against Malnutrition (PAM)
&
アライアンス・フォーラム財団

謝辞

本調査効果測定プロジェクトに貴重なご指導・ご意見をくださいました JICA 国際協力専門員の花田恭先生・力丸徹先生、慶応大学医学部衛生学公衆衛生学教室の武林亨先生、薬理学教室の安井正人先生、横浜市立大学学術院医学群臨床統計学・疫学教室の森田智視先生、JETRO アジア経済研究所の Abu Shonchoy 先生に厚く御礼を申し上げます。また本プロジェクトに参加協力してくださった Zambia Ministry of Health、Ministry of Agriculture and Livestock、Ministry of Community Development, Mother and Child Health、The National Food & Nutrition Commission (NFNC)、District Health Management Team、University of Zambia Biomedical Research Ethics Committee (UNZAREC)、PAM (Programme Against Malnutrition)、カナカンタパ村の皆様に深く感謝いたします。

概要	6
1. プロジェクトの背景	8
1.1. ザンビアの栄養不良	8
1.2. ザンビアの食生活	9
2. プロジェクトの概要	9
2.1. プロジェクトの目的	9
2.2. スピルリナの効果	10
2.3. プロジェクトの意義	10
3. 効果測定的设计	11
3.1. 調査対象とサンプリング方法	11
3.2. 食品の配給	12
3.3. 対象地域	12
3.4. 実施体制	14
3.5. ザンビア大学生命医学研究倫理委員会 (UNZA REC) の許可	16
3.6. 栄養失調を表す指標 (HAZ/WAZ/MUACZ)	16
4. 分析・結果	17
4.1. 記述統計	17
4.1.1. バランス・チェック (ベースライン)	17
4.1.2. 介入前後の比較	18
4.1.3. 疾患への罹患率	19
4.2. 回帰分析	20
4.2.1. 実証戦略	20
4.2.2. 結果	22
5. 食生活	22

6. 論点	25
6.1 WAZ と MUACZ	25
6.2 分析の限界.....	26
6.3 先行研究との比較.....	27
6.4 その他の評価	27
7. 結論	28
Appendix	28
Reference.....	30

表目次

表 1: 標本数 (入れ替え後)	12
表 2: 3つの栄養指標の平均値-カナカクタパ村	14
表 3: 3つの指標の説明.....	17
表 4: バランス・チェックの結果 (HAZ・WAZ・MUACZ)	18
表 5: 3指標の変化	19
表 6: 栄養不良の頻度(ベースライン/エンドライン比較).....	19
表 7: 病気ごとの疾患数	20
表 8: 子供の発育に対するスピルリナの効果	22

図目次

図 1: 世界の5歳未満児の低体重時の割合の変化 (1990-2010)	8
図 2: アフリカにおける栄養失調(Stunting)の分布	8
図 3: カナカクタパ村	13
図 4: 実施体制	15
図 5: カナカクタパ村の成長曲線	17
図 6: DID の概念図.....	21
図 7: 調査地における主食の変化	23
図 8: ザンビアにおける副食の変化	24
図 9: タンパク質を豊富に含む食べ物 (魚・肉・卵・乳製品・豆類)	24

略称

AFF	Alliance Forum Foundation
CGP	Child Growth Promoter
DALYs	Disability-Adjusted Life Years
DHMT	District Health Management Team
ZDHS	Zambia Demographic and Health Survey
DID	Difference in Differences
FAO	Food and Agriculture Organization
IISAM	Intergovernmental Institution for the use of Micro-algae Spirulina Against Malnutrition
JETRO	Japan External Trade Organization
JICA	Japan International Cooperation Agency
LIC	Low Income Countries
MDGs	Millennium Developing Goals
MUAC	Mid-Upper Arm Circumference
MUACZ	Mid-Upper Arm Circumference Z score
NFNC	National Food and Nutrition Commission
PAM	Programme Against Malnutrition
SADC	Southern African Development Community
UNICEF	United Nations Children's Fund
UNZAREC	University of Zambia Biomedical Research Ethics Committee
USAID	United States Agency for International Development
WHO	World Health Organization

概要 (Executive Summary)

本研究は乳幼児の慢性栄養不良の割合が高い南部アフリカの内陸国ザンビアで、タンパク質・ミネラル・ビタミンなどの栄養素を豊富に含む藍藻類、スピルリナの摂取による低栄養状態の改善効果について、身体的指標である、年齢に対する身長 Z 値 (HAZ)、体重 Z 値 (WAZ)、上腕囲 Z 値 (MUACZ) を用いて検証を行った。調査は 2012 年 4 月から 2013 年 2 月まで行われた。60 人の子供をスピルリナ投与群と対照群に分け、2012 年 6 月から 2013 年 2 月にかけて身体計測を行い、結果を比較したところ、いずれの指標でも投与群が対照群と比べて大きく回復した。回帰分析でスピルリナは HAZ を 0.231 ポイント (CI: -0.055 – 0.516) 改善させていた。WAZ と MUACZ はそれぞれ 0.086 ポイントと 0.377 ポイントの改善効果が示されたが統計的に有意な改善は見られなかった。ベースライン時点の WAZ の平均が約 -0.69 ポイント、MUACZ の平均が -0.1 ポイントと、HAZ の平均 -2.26 ポイントと比べ比較的問題がなく、改善の余地が小さかったこと、WAZ・MUACZ が短期的な栄養状態を表す指標であり、短期的な変動が大きい為にスピルリナの効果があったとしてもそれが統計的に有意な差として検出されにくかったことなどが理由と考えられる。一方で、慢性的な栄養状態を示す HAZ においては比較的優位な影響がみられたことは、低身長が深刻なザンビアにおいてはスピルリナが栄養介入に有効な手段になりうることを示唆している。

This study tested the efficacy of spirulina on malnourished children in Zambia. Zambia is situated in sub Saharan Africa where the rate of malnutrition especially stunting is very high among under five children. Spirulina is a blue green micro algae that comprise abundant nutrients such as protein, minerals and vitamins. The study was conducted from April 2012 to February 2013. The sample size comprised sixty (60) children who were divided into two groups: spirulina treatment group and the control group. The outcome of taking spirulina regularly was compared by collecting anthropometric data every month from June 2012 to February 2013. The results show improvement for all indicators to be higher in the treatment group compared to the control group. Furthermore, the regression result shows that spirulina intake leads to 0.231 points more improvement in Height for Age Z-score (HAZ) (CI: -0.055 – 0.516). As for Weight for Age Z-score (WAZ) and Mid-Upper Arm Circumference Z-score (MUACZ), spirulina intake had higher effect by 0.086 point and 0.377 point respectively, though not statistically significant. This may be attributed to the relatively high average values of WAZ and MUACZ before the treatment (WAZ: -0.7, MUACZ: -0.11). Both groups had relatively mild malnutrition in reference to the two indicators in contrast to the seriously low value of HAZ - Score, which was below -2 points. WAZ is a measure of both long and short term nutritional adequacy while MUACZ reflects a recent and severe process that leads to substantial weight loss. WAZ and MUACZ show insignificant effect because they are sensitive to short term changes and may fluctuate from month to month. This may explain why spirulina intake did not cause any statistically significant difference to WAZ and MUACZ. On the other hand, a relatively high effect was observed in HAZ – score, a chronic malnutrition indicator. The results imply that spirulina consumption is effective in Zambia where severe “stunting” is high in the country

1. プロジェクトの背景

世界的に見て低栄養状態は乳幼児に最も深刻な被害をあたえている原因の1つである。低栄養状態の健康への影響は様々であり、低体重・低身長などの成長遅延、免疫力の低下、精神遅滞など肉体的・精神的両方の影響があると言われている。Pilletier ら (1995) によれば、途上国で起こっている5歳未満の子供の死亡のうち56%が栄養失調に由来するものであり、WHO も低収入国 (LIC) において最も健康へのリスクが高いものとして乳幼児の低体重を挙げている。

貧困の削減と人々の生活向上のために国際社会が取り組むべき課題について定めたミレニアム開発目標においても、乳幼児の栄養改善はターゲット 1-C(貧困・飢餓の撲滅: 飢餓に苦しむ人々の割合を1990年から2015年までの間に半減される)、ターゲット 4-A (乳幼児死亡率の削減: 乳幼児死亡率を3分の2まで減少させる) に関連する重要なトピックとされており、早急な取り組みが必要である。

低栄養状態は世界的に見て改善傾向にあると言われているが、図1にあるように地域別に1990年から2010年までの変化を見ると、アジア・ラテンアメリカ地域では大きく減少しているものの、アフリカ地域ではその変化はわずかで、アフリカの子供たちは今も低栄養状態に苦しんでいる事が伺える。

1.1. ザンビアの栄養不良

ザンビアが位置するサブサハラ地域は世界でも慢性低栄養状態が蔓延している地域の1つである。慢性低栄養の指標はStunting と呼ばれる低身長状態である。ザンビアは2007年の時点で5歳未満の子

図 1: 世界の5歳未満児の低体重時の割合の変化 (1990-2010)

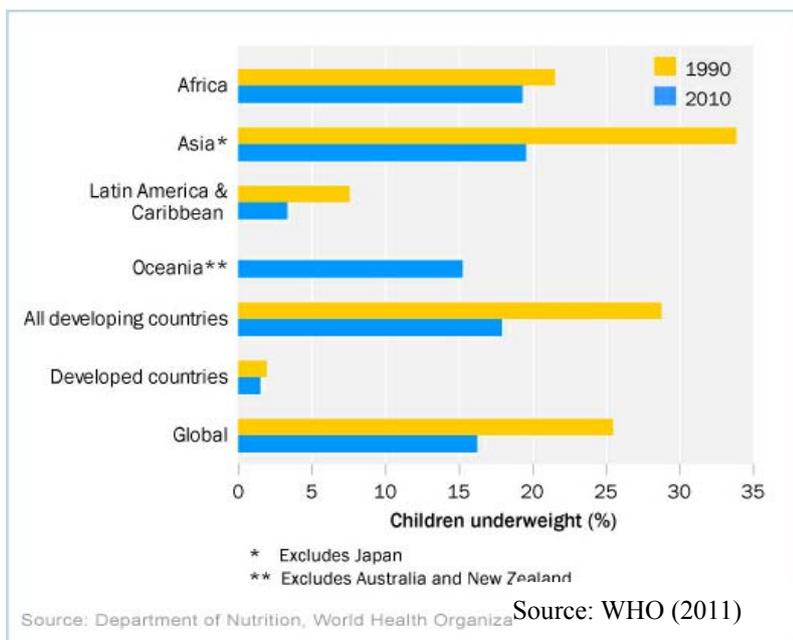
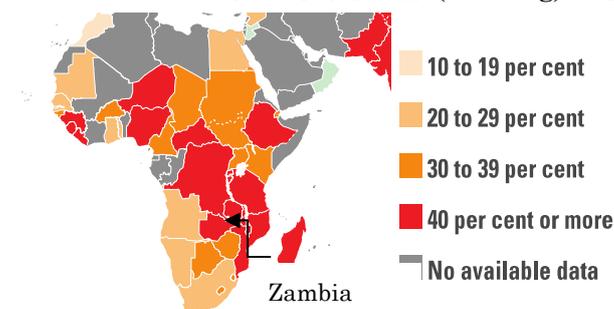


図 2: アフリカにおける栄養失調(Stunting)の分布



供のうち 45%が Stunting に罹っており、世界で見ると 8 番目に割合が大きい国である(ZDHS, 2007)。ザンビアでは依然として多くの子供が低身長 (45%)、ビタミン A 欠乏症 (54%)、鉄欠乏症 (53%) に罹っている (CSO, 2009)。5 歳未満児死亡率も 2007 年時点で 1000 人あたり 119 人と大きい(ZDHS, 2007)。その一方で急性低栄養状態の指標である低体重 Wasting の有病率は 2007 年では 10%と比較的少ない。以上の状況から慢性低栄養の改善を目的とした栄養改善プロジェクトはザンビアにとって非常に重要である。

1.2 ザンビアの食生活

ザンビアの主食はメイズ及びキャッサバである。メイズは人口の 90%以上に食されており、メイズやキャッサバを材料とする Nshinma は野菜などの様々な副食との組み合わせで普及している。しかしながら、ザンビアでは約 60%の世帯が 1 日 2 食以下で生活をしており、そのことが不十分な栄養素摂取と結びついている (FAO, 2009)。平均摂取カロリーは約 1,900kcal で必要量とされる 2,056kcal には届いていない。また主なエネルギー摂取源はメイズなどの穀類、サツマイモなどの芋類を中心とした炭水化物で、この 2 種で摂取カロリーの約 8 割を占めており、タンパク質や脂質などの摂取は少なく、偏った食生活になっている。

2. プロジェクトの概要

プロジェクトの対象地域として選ばれたのは、チョングウェ郡カナカンタパ村である。対象となるのは小規模農業を実施している農家家計で、類似した食生活のパターンを持っている。参加した母子には調査が実施されている 2012 年 5 月から 2013 年 2 月までの期間中通常通りの生活をしてもらった。

2.1 プロジェクトの目的

スピルリナプロジェクトの目的はスピルリナが栄養不良の乳幼児の栄養改善に効果があるかどうかを検証するものである。そのため本効果測定プロジェクトでは、栄養不良の指標として一般的に用いられる、①年齢に対する身長の Z 値 (Height for Age Z-score, HAZ)、②年齢に対する体重の Z 値 (Weight for Age Z-score, WAZ)、③上腕囲 Z 値 (Mid Upper Arm Circumference Z-score, MUACZ)の 3 指標を利用してスピルリナの乳幼児の栄養不良への改善効果を測定した。

2.2. スピルリナの効果

スピルリナはアフリカ原産の藍藻類の1つであるが、ザンビアでの栄養改善に栄養面、生産面、栄養教育面の3つの点から、持続的な栄養改善に貢献すると考えられる。

スピルリナは様々な栄養素を豊富に含む事で知られている。特に慢性低栄養児が不足しやすい、タンパク質、βカロチン(体内でビタミンAに変換)、鉄分、ビタミンBなどの栄養素が特に多く含まれている。タンパク質の欠乏によって起こるクワシオルコル(Kwashiorkor)、ビタミンA欠乏症、貧血症といった症状がザンビアで広まっている栄養問題で、スピルリナの投与はこれらの欠乏症を抑制するために役立つと考えられる。国際連合においても、栄養改善においてその効果に期待がもたれており、社会経済協議会のもとにIISAM(Intergovernmental Institution for the use of Micro-algae Spirulina Against Malnutrition)と呼ばれる組織が設置され、活用が検討されている。

生産面においても他の高プロテイン食である大豆や肉と比べて必要とされる水やエネルギー量が少ないため、生産コストも安い。生育期間も2週間と短く、短期間で収穫できる。またザンビアの豊富な河川と日照量という環境はスピルリナの生育に最適であり、将来的に自立した生産も可能である。

栄養教育の面では、スピルリナが緑色であることが大いに役立つ。その見た目から、他の無色の栄養素に比べて、食事への添加が意識されやすい。これによって日々の生活での栄養への意識が高まる事が期待される。

2.3. プロジェクトの意義

母子の栄養に関する健康教育や主要/微量栄養素の直接介入などの手段が、発展途上国の国々で実施されてきた。2008年に国際的な学術雑誌ランセットにおいて栄養失調の特集が組まれた際には、母乳栄養の強化、ビタミンAや亜鉛といった微量栄養素のサプリメントーションがDALYs(Disability-Adjusted Life Years)を基準にしたとき、最も効果的であるとされている。その一方で、著者らはバランスのとれたプロテインのサプリメントーションも710万DALYsに貢献すると指摘しており、その重要性は認識されていると言える。前章でも触れたように、スピルリナは豊富にプロテインを含むだけでなく他のビタミンやミネラルなども豊富に含んでいる。このような点からスピルリナを栄養失調の改善のために添加して配給することは栄養失調の改善に役立つと考えられる。

スピルリナの栄養失調への有効性はかねてから触れられてきてはいたが、実際に栄養失調の乳幼児にどのような効果をもたらすかということについては、今までそれほど多くの研究がされてきているわけではなかった。J.Simpore ら (2006) はブルキナファソの子供たちの栄養失調の回復にスピルリナが有効であることを報告しているが、栄養失調に影響を与えるような他の要因の影響を考慮していないなど、方法論など面で問題がある。K.F.Michaelson (2009) からも指摘しているように、スピルリナの有効性の報告については限定的であり、より詳細な調査が必要である。以上の観点から、本プロジェクトのようなより臨床試験に近い形でのスピルリナの効果の測定は、その有効性の知見の蓄積に非常に重要な役割を果たすと考えられる。それに加えて、本プロジェクトはザンビア国で行われる初めてのスピルリナの効果測定という点もそれに貢献すると考えられる。

3. 効果測定の設計

3.1 調査対象とサンプリング方法

4月にベースライン調査として、カナカンプ村クリニックで保健省が月1回定期的に実施している身体測定に参加した295人の子供について、身長・体重・上腕囲を計測した、その結果に基づき合計60人の生後18か月から36か月までの発育不良児を抽出し調査対象とした。

まず、HAZ・WAZの単純和を慢性的低栄養状態の基準とし、最も症状が深刻だと見なされる子供60人をプロジェクト対象者として選び、次に彼らをWHZとMUACZの単純和を基準にして急性的な栄養不良と見なされる子供から順番に並べ、順番が奇数の子供を介入群、偶数の子供を対照群とし、その上で群間での性別・居住地域・被説明変数の値にかたよりが生じないように調整を行っている。純粋なランダムサンプリングを採用していないが、調整のバランス・チェックを実施して、3つの指標の群間差が統計的に有意かどうかを確認する目的でt検定を行ったが、いずれも10%水準で有意差は確認されなかった。¹ 選ばれた栄養不良児は以下のような構成になっている：

¹ その後転居や父親の反対などを理由にして6月時点で数名の子供が脱落し、他の子供で入れ替えを行った。その数は介入群で6名、対照群で1名なので、介入群の方が入れ替えの数が多い。バランス・チェックの結果からみるとHAZ、WAZ、それぞれの指標は概ねバランスしているといえるが、MUACZとWHZの初期値が入れ替え前に比べて、介入群で高くなってしまった。

- a) 介入群: スピルリナ入りのお粥を摂取する 30 人の子供
- b) 対照群: 通常のお粥を摂取する 30 人の子供

3.2 食品の配給

コンプライアンスの観点から、1ヶ月に1度、お粥の材料の粉末を配給した。ターゲット群には5kgのローラーミル²に、300gのスピルリナ、0.8kgの砂糖、0.1kgの塩を混ぜた粉末を配給した。対照群にもスピルリナを除き同様のものが配給されている。なお、1日2回子供に決められた量のお粥を食べさせることを約束している以外は、それ以外は通常通りの献立で食事をとることになっている。

配給期間は2012年6月から2013年2月までの9カ月間にわたって行われた。身体測定はヘルス・ポストごとに、1か月に1度決められた測定日に実施した。当日どうしても都合がつかない場合は現地のクリニックのボランティアであるChild Growth Promoter（以下、CGP）が後日自宅を訪問して計測したが、訪問計測も困難な場合はその月のみ欠損値とし、転居などプロジェクトの継続が不可能な場合には、脱落として扱った。脱落した参加者のうち、6月時点での脱落は介入初期であるため他の子供と入れ替えを行い、それ以降に脱落した場合は計測の打ち切りとして扱った。調査期間を通じて各月に身体測定が出来た子供の標本数を表1に示す。

表 1: 標本数（入れ替え後）

ヘルス・ポスト	2012								2013	
	4月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
F	30	16	28	26	28	20	26	27	28	26
H	12	12	12	11	10	10	11	10	10	10
K	18	17	18	15	16	17	11	17	15	16
合計	60	45	58	52	54	47	48	54	53	52

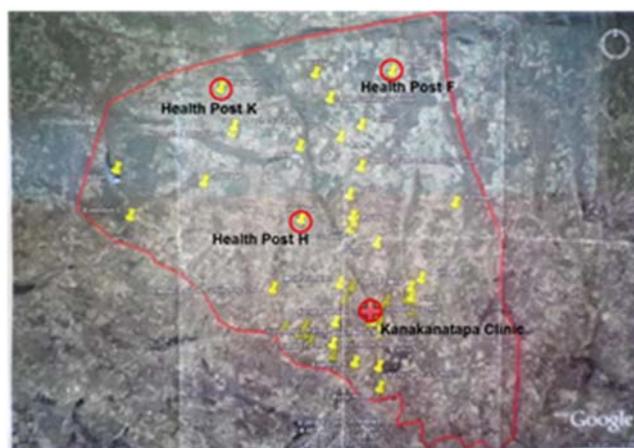
² メイズ由来のザンビアの主食で、抽出率(extraction rate)が90%以上のもの

3.3 対象地域

カナカントパ村の3つのヘルス・ポスト（F、H、K）を対象として実施した。それぞれの地理的な位置は図3の通りである。カナカントパ村はルサカ市街地から60kmに位置し、プロジェクト管理の面でも都合が良く、Plumpy'nut³の配給など、政府やNGOの食糧援助

が実施されておらず、外部からの影響を考慮しなくてよかったこと、加えて、現地カウンターパートである現地NGOのPAMがこの地域で活動をしており、プロジェクト運営の協力を得るのが容易であったことなどから、調査地域として選定された。

図3:カナカントパ村



ルサカ州は9つのザンビアの州の中では最も栄養失調の割合が小さいものの、DHS Zambia(2007)の調査によれば、37.2%の子どもが「低身長」(HAZ<-2)、9.7%の子どもが「低体重」(WAZ<2)と評価されている。それに比べ、今回の調査地で2012年4月に行った295名に対するスクリーニングの結果では、106名(36.5%)の子どもが「低身長」、15名(5.1%)の子どもが「低体重」と評価されており、調査期間が違うもののDHS 2007で得られたルサカ州全体の平均に近かった。

また、調査地域が抱える課題として、ヘルスケアへのアクセスが限られていることが先行研究によって指摘されている。Chatt,C. and Robert, L [2010]によると、カナカントパ村で面談形式の聞き取り調査を行った結果、最寄りの病院から距離が離れていること、必要な医薬品が病院には不足していると思われることなどを理由に、ヘルスケアが必要であっても病院に行かず、診察を受けなかった人が約3分の1いたという。医師不足などを理由にヘルスケアが限られているというのはカナカントパ村だけでなく、ザンビア全体にいえることであり(MoH, [2005])、慢性的栄養不良は免疫力低下の原因ともなるから、免疫力を高め病気を未然に防ぐという意味でも栄養価の高い食材が求められている。

³ 小袋に入れて配給されるビーナッツの練り物

表 2 : 3 つの栄養指標の平均値-カナカクタパ村

	Obs	平均		
		HAZ	WAZ	MUACZ
Health PostH	80	-1.32	-0.29	0.08
Health PostF	116	-1.37	-0.36	-0.47
Health PostK	99	-1.31	-0.15	-0.07
Total	295	-1.33	-0.27	-0.19

3.4 実施体制

本効果測定に先立ち、保健省、政府の栄養専門機関の The National Food & Nutrition Commission (以下、NFNC)、District Health Management Team (以下、DHMT)、ザンビア大学生命医学研究倫理委員会から本効果測定への認可を受け、協力体制を整えた。調査については、下記リストの現地有識者からなる運営委員会を結成し、調査全体についてのモニタリングを実施した。調査の途中経過については3ヶ月経過時、6ヶ月経過時にプログレス・レポートを作成し、同委員会に報告した。

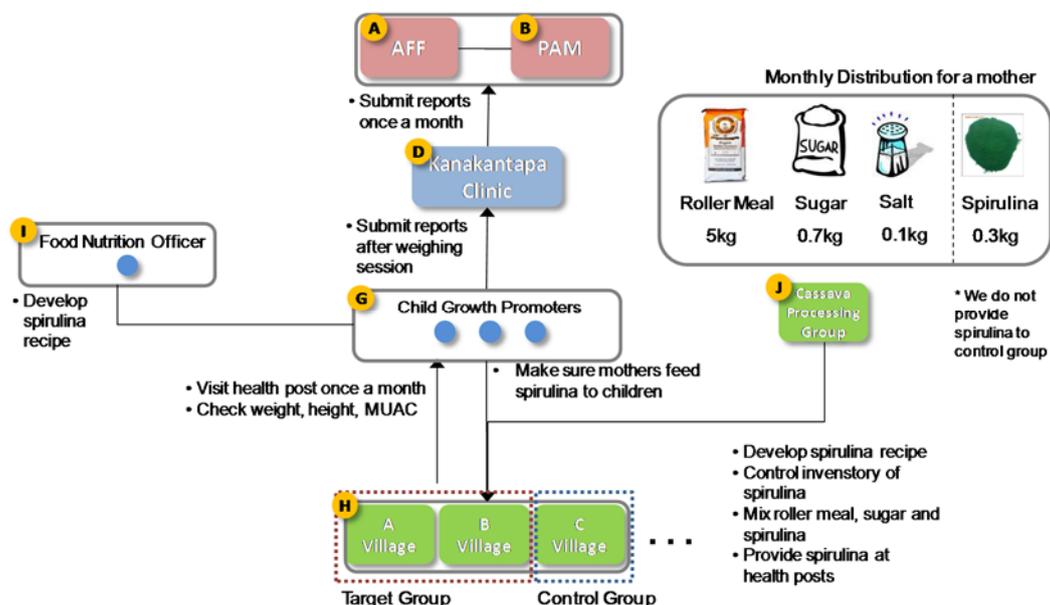
運営委員会メンバー

- | | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1. Nancy Sakala | Ministry of Agriculture and Livestock |
| 2. Dorothy Sikazwe | Ministry of Community Development,
Mother and Child Health |
| 3. Agness Aongola | Ministry of Health |
| 4. Albertina Kaposhi | The National Food and Nutrition
Commission (NFNC) |
| 5. Dr. Charles Msiska | District Health Management
Team (DHMT) |
| 6. Maureen Chitundu | Programme Against Malnutrition (PAM) |
| 7. Aya Nakauchi | Alliance Forum Foundation |

その後、コミュニティの有力者と地域の政治家を集めた会合を開催し、本調査への地域コミュニティの理解を深めた。介入群、対照群の母親に対してはスピルリナ、本効果測定の意味、そして注意事項について説明を実施した上で、お粥の調理方法の指導が農業省に所属する **Food Nutrition Officer** により行われた。お粥の粉の袋詰めを実施するのはカナカントパ村のキャッサバ加工グループである。本グループは日本政府支援により設立されたキャッサバ加工工場を運営しており、材料の重量計測やパッケージに強みを有する。グループは袋詰めした後、配給を行う各ヘルス・ポストまでお粥の粉の輸送を行った。

身体測定を行うのは各ヘルス・ポストに駐在する **CGP** である。**CGP** は従来から保健省のプログラムで身体測定を担当しており、豊富な経験を有する。本効果測定に先立って、適切な身体測定の実施方法のトレーニングが **NFNC** の専門家により **CGP** に対して行われた。お粥の粉の配給は各ヘルス・ポストでの身体測定の際に **CGP** により実施された。**CGP** は、月に一度母親のもとを訪れ、母親が子供にスピルリナを与えているかどうかのモニタリングを行うと同時に、子供の食生活を定性的に把握する為の 24 時間記録の記入を行った。24 時間記録では、過去 24 時間の子供の食事の内容の他に、過去 1 ヶ月の病歴、子供の体調やスピルリナ入りのお粥の粉に関する母親のコメントなどが含まれている。身体測定の結果は **AFF** と **PAM** に送られ、結果の分析や報告書の作成はザンビアと日本の事務所が緊密に連携して行った。

図 4:実施体制



3.5 ザンビア大学生命医学研究倫理委員会（UNZA REC）の許可

調査の倫理性を審査する UNZA REC には 2011 年 5 月に調査企画書を提出し、2012 年 2 月に最終的な承認を得た。効果測定途中経過については、UNZA REC 指定のフォーマットにて 3 ヶ月毎に報告をした。調査の実施中、UNZA REC からの特段の指示はなかった。

3.6 栄養失調を表す指標（HAZ / WAZ / MUACZ）

今回の効果測定では栄養失調状態を計測するために、HAZ、WAZ、MUACZ という 3 つの指標を用いた。本指標は、年齢に対する身長・体重・上腕囲をそれぞれ標準化したもので、年齢ごとの標準的な成長曲線からどれだけ乖離しているのかを見ることによって、栄養不良の程度を評価している。HAZ は慢性的な栄養不良を表す指標と捉えられ、WAZ・MUACZ は中期的・短期的な栄養不良を表す指標とみなされている。これらの指標は WHO や UNICEF が使用しており、例えば HAZ が -2 を下回る場合には「低身長」、WAZ が -2 を下回る場合には「低体重」と一般的には評価される。さらに、それぞれの指標が -3 を下回るときは「重度」とみなされる。

身長・体重・MUAC からこれらの指標に変換する際には、WHO の提供している Anthro (Version 3.2.2.)⁴ というソフトを用いた。WHO の取り決めに従い、身長の計測の際には、2 歳以上の子供は立たせるが、それ未満の子供は寝かせて行った。本調査地で 4 月に実施したスクリーニング時点での子供の身長・体重データを成長曲線上にプロットしたものが図 5 である。標準的な成長曲線（HAZ/WAZ=0）は上から 3 番目の曲線で、スクリーニングした子供の多くが曲線の下側にあることが分かる。また、「低体重」（WAZ < -2）を下回る子供はほとんどいないのに対し、「低身長」（HAZ < -2）を下回る子供が多数確認された（それぞれ下から 1 番目の曲線）。

調査地の食生活は主食作物（炭水化物）が中心で、ビタミンやタンパク質など、微量栄養素を豊富に含む食べ物を摂取できていない。それが、「低身長」と「低体重」の頻度の違いを説明する理由の一つと考えられる。

⁴ <http://www.who.int/childgrowth/software/en/>

図 5: カナカクタパ村の成長曲線

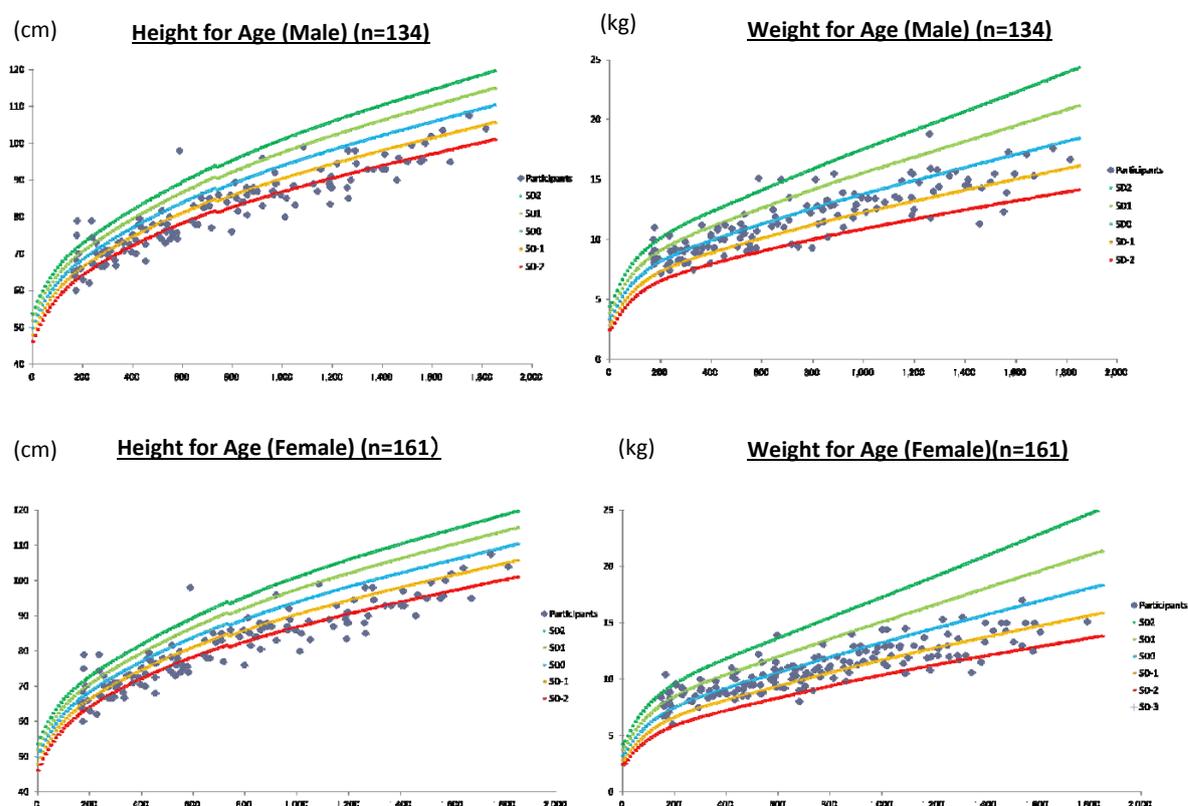


表 3 : 3つの指標の説明

Abbreviation	
HAZ	Height for Age Z-score
MUACZ	Mid Upper Arm Circumstance Z-score
WAZ	Weight for Age Z-score

4. 分析・結果

4.1 記述統計

まず分析に用いた各指標を集計し単純な群間比較をおこなった。まず、4.1.1節では、分析の前提として、3指標が4月の時点で介入群と対照群の間でバランスしているのかを確認した。4.1.2節では、2012年4月と2013年2月の2時点での差分をとり、実際に栄養指標がどれほど改善しているのかを確認した。

4.1.1 バランス・チェック（ベースライン）

スピルリナの効果を検証するためには、発育に関わる条件が介入群・対照群の間で同じであることが望ましい。中でも、初期の栄養指標の差が2つの群

の間で大きいほど、セレクション・バイアスが大きくなってしまふ。

ベースラインの時点での二つの群の間での被説明変数の値が偏っているかどうかを確認する目的で、3指標それぞれに対してt検定を行った。結果は、いずれの指標も介入群と対照群の間で統計的な有意差は見られなかった。しかしながら、MUACZについては介入群と対照群の差は0.23ポイントあり、他の2つの指標と比べると差が大きく、分析においては留意が必要である。

表 4： バランス・チェックの結果 (HAZ・WAZ・MUACZ)

分散が等しくないと仮定したt検定

	(1) HAZ		(2) WAZ		(3) MUACZ	
	介入群	対照群	介入群	対照群	介入群	対照群
平均	-2.252	-2.26	-0.71	-0.67	0.01	-0.22
分散	0.667	0.831	0.39	0.9	1.2	0.91
標本数	30	30	30	30	30	29
自由度	57		50		56	
t値	0.033		-0.21		0.84	
P(T<=t)	0.487		0.42		0.2	
t 境界値 片側	1.672		1.68		1.67	
P(T<=t) 両側	0.974		0.83		0.41	
t 境界値 両側	2.002		2.01		2	

*5%の有意水準

4.1.2 介入前後の比較

プロジェクト対象の子供の間で、平均して栄養指標が介入前後でどれだけ改善したのかを確認するために、2013年2月時点と2012年4月時点での差分を取ったものが表5である。それぞれの指標はZ値で標準化されているので、2時点の差がプラスということは、その子の初期時点の成長曲線を基準にして期待される以上のペースで発育が進んだことを示している。

介入群と対照群の伸びを比べてみると全ての指標で介入群の方が改善していた。また全体的に3つの指標のなかでも、短期の栄養失調状態を表すWAZは変化がほとんど見られなかったが、慢性の栄養失調を評価するHAZは大きく改善していた(0.47:介入群, 0.34:対照群)。

表 5:3 指標の変化

		ベースライン	エンドライン	変化
HAZ	介入群	-2.25	-1.78	+0.47
	対照群	-2.26	-1.92	+0.34
WAZ	介入群	-0.71	-0.59	+0.12
	対照群	-0.67	-0.65	+0.02
MUACZ	介入群	0.01	0.36	+0.35
	対照群	-0.22	-0.25	-0.03

また栄養不良の子供がどれ位減少したのかに注目したのが表 6 である。表 6 は PJ 対象者 60 名の低栄養の子供の比率をあらわしている⁵。全体では、ベースラインで「低身長」(HAZ<-2) に該当された子供は 58.3%いたが、エンドラインでは 34.6%に減少している。同じく、当初「低体重」(WAZ<-2) に該当している子供は 8.3%だったが、エンドラインの時点で 3.8% にまで減少している。

表 6: 栄養不良の頻度(ベースライン/エンドライン比較)

		<-1.5		<-2.0	
		ベース ライン	エンド ライン	ベース ライン	エンド ライン
HAZ	介入群	73.3%	51.9%	56.7%	37.0%
	対照群	76.7%	68.0%	60.0%	32.0%
	平均	75.0%	59.6%	58.3%	34.6%
WAZ	介入群	20.0%	14.8%	13.3%	7.4%
	対照群	16.7%	20.0%	3.3%	0.0%
	平均	18.3%	17.3%	8.3%	3.8%
MUACZ	介入群	3.3%	3.7%	3.3%	0.0%
	対照群	10.0%	4.0%	6.7%	0.0%
	平均	6.7%	3.8%	5.0%	0.0%

4.1.3. 疾患への罹患率

本調査の期間中に参加者に対して聞き取り調査を実施し (2012 年 12 月)、思い出し法による疾病の罹患状況について調査を行った。USAID が実施している

⁵ ここでは、z 値<-1.5、z 値<-2 の 2 つの基準を用いた。

ZDHS を参考にマラリア、咳、熱、下痢について質問をおこなった。それぞれ思い出し期間は、マラリアのみ 6 か月で他の 3 つについては 2 週間を設定した。

こちらの結果はグループごとにカウントした上で χ^2 検定を行ってグループ間の差を確かめた。その結果が下の表 7 である。マラリアにおいてはスピルリナを投与された群が投与されていない群より有意に罹患者数が少なかった事が確かめられた。一方でその他の疾病においては、差は有意には認められなかった。

表 7: 病気ごとの疾患数

		マラリア		熱		咳		下痢	
		罹患	非罹患	罹患	非罹患	罹患	非罹患	罹患	非罹患
人数	介入群	4	24	8	20	8	20	8	20
	対照群	11	17	10	17	10	18	6	22
割合	介入群	14.3%	85.7%	28.6%	71.4%	28.6%	71.4%	28.6%	71.4%
	対照群	39.3%	60.7%	37.0%	63.0%	35.7%	64.3%	21.4%	78.6%
Chi-square		4.462		0.447		0.327		0.381	
P 値		0.0347		0.5036		0.5671		0.5371	

4.2 回帰分析

記述統計から平均して介入群の方が、対照群よりも各栄養指標が改善していることが確認できたが、発育には様々な要因が関わっている為、スピルリナの純粋な効果を示しているかはわからない。そのような要因による影響を考慮するために、回帰分析を行った。この節ではスピルリナの効果を測定するために使用したモデルの説明と、分析の結果を示す。4.2.1 節でモデルについて、4.2.2 節で分析結果について説明している。

4.2.1 実証戦略

スピルリナの効果を実証するため、今回の分析では次のモデルを用いて推定を行った。

$$y_{it} = \lambda_i + \alpha Time_t + \beta Treatment_t \times Time_{it} + \varepsilon_{it}$$

y_{it} : Output variables (HAZ, WAZ, MUACZ)

$Treatment_t$: Takes 1 if child is in treatment group, 0 otherwise

Time_t: Time specific effect

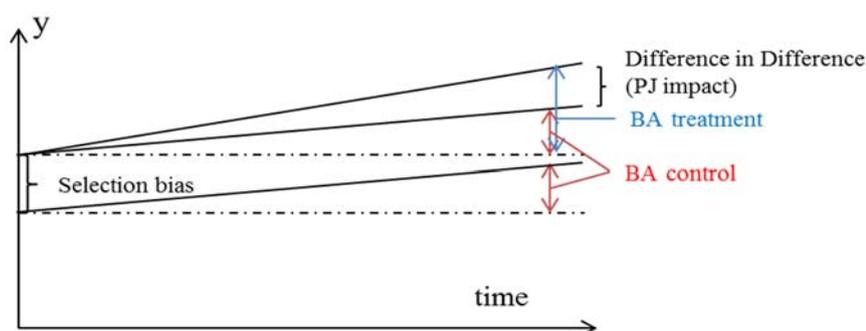
λ_i : group specific effect

これはプロジェクト効果分析で広く用いられている DID(difference in difference)という手法である。基本的な考え方としては、ある介入を行ったプログラム処理群での、プログラム前後の変化の平均 (Before-After: treatment group) とプログラム対照群でのプログラム前後の変化の平均 (Before-After: control group) を比較することによって、時間効果 (time-specific effect) およびグループ固有の効果 (group-specific effect) を取り除いた純粋なプロジェクトの効果进行推定しようというものである。

時間効果というのは、介入群・対照群に共通する、それぞれの時期固有の要因を補足する変数で、例えば、ベースラインの4月と身体測定最終月である2月それぞれの食生活の違いや、ベースラインの4月までは行われておらず、6月からは両群で毎日実施されていたお粥の粉の配給などが時間効果にあたる。グループ固有の効果というのは対照群と介入群の被験者の特性が異なっている場合に、それぞれの違いが与える固有の効果を補足する変数である。

今回のサンプリング方法では、栄養に影響を与える他の変数が結果的に両群で差が生まれている可能性があるため、それらの諸要因のうち時間を通じて変わらないものが被説明変数に与える総合的な効果を、このグループ固有の効果が表している。年齢などの個人要因や病気への罹患といった要因の違いがこれに該当する。こうした栄養介入に影響するような他の要因に対して頑健であることが、DIDのモデルを用いることのメリットだといえる。

図 6 : DID の概念図



4.2.2 結果

結果は、介入ダミーと時間の交差項 β が、被説明変数を HAZ とした時に 10% の水準で有意であった (表 8)。これは、スピルリナが統計的に有意な効果を持ち、介入群の方が対照群に比べて、平均で 0.231 ポイント改善が大きかったことを示している。一方で、WAZ と MUACZ については、統計的に有意な効果は見られなかったものの、係数自体はそれぞれ約 0.086 ポイント (WAZ)、約 0.377 ポイント (MUACZ) と、正の結果が得られた。

表 8: 子供の発育に対するスピルリナの効果

	HAZ	WAZ	MUACZ	Note
ベースライン時の平均	-2.26	-0.69	-0.10	
Time (α)	0.220	0.011	-0.073	←Coefficient
	(0.17)	(0.26)	(0.21)	←p-value
	(0.33)	(0.97)	(0.76)	←standard error
	[-0.518 , 0.959]	[-1.126 , 1.149]	[-0.971 , 0.825]	←95% Confidence Interval
Treatment_Time (β)	0.231*	0.086	0.377	←Coefficient
	(0.07)	(0.16)	(0.28)	←p-value
	(0.07)	(0.64)	(0.31)	←standard error
	[-0.0547 , 0.516]	[-0.598 , 0.770]	[-0.824 , 1.578]	←95% Confidence Interval
標本数	108	111	111	
子供の数	58	60	60	
ハウスマンの p 値	0.7721	0.9993	0.4064	

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

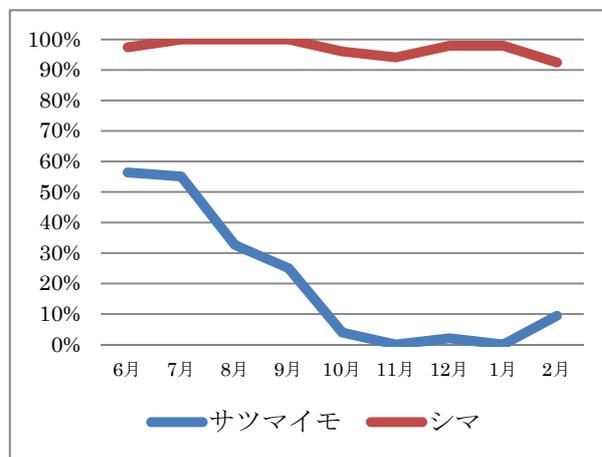
5. 食生活

24 時間思い出し法を用いて食生活の多様性に関する調査を行なった。プロジェクトの参加者は 24 時間以内に食べたものを尋ねられ、CGP がそれを記録した。その結果が図 7-9 である。

まず調査地における炭水化物摂取について分析した。カナカントパ村ではシマ（メイズ）とサツマイモがしばしば主食として食べられているが、図 7 はそのシマとサツマイモが調査地において 6 月～12 月の間にどの程度の割合の世帯で食べられているかを示したものである。シマは 1 年を通して 90%以上の世帯で食べられている事がわかる。一方でサツマイモは 6 月～7 月にかけては 50%近くの世帯で摂取されていたが、それ以降は減少し 10 月～12 月にかけてはほとんど食べられていない。

図 7: 調査地における主食の変化

* 縦軸は全世帯中（約 50 世帯）何%の家庭がその食品を摂取したかを表している。



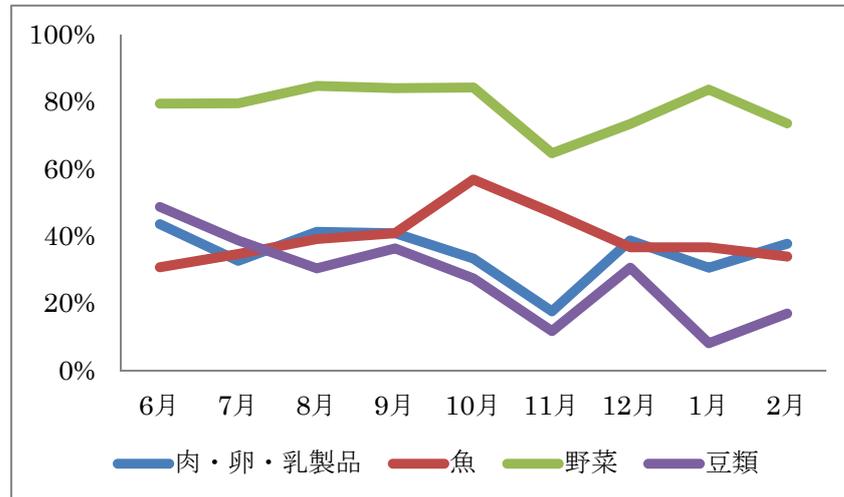
シマはトウモロコシ (maize) 由来の食べ物であるが、トウモロコシは必須アミノ酸の 1 つであるトリプトファンが少ない事が知られている。実際ザンビアでは 2002 年に南部でトリプトファン欠乏に由来するペラグラのアウトブレイクが報告されている⁶。このため、トリプトファンを十分に含む食品を合わせて摂取することはザンビア人にとって重要であるといえる。

また同様に副食（野菜、肉・乳製品、魚、豆類）について示したものが図 8 である。1 年を通して野菜は比較的多くの世帯で（約 80%）摂取されていた。一方でタンパク摂取源となりうる肉・乳製品、魚、豆類を比較すると、魚は比較的多くの世帯で摂取されており、6 月から 2 月を通して 30%～50%近くの世帯が摂取している。その一方で肉・卵・乳製品類は 10%～40%、豆類は 5%～40%と月ごとに大きく異なる。このようにタンパク摂取源は魚を除き月ごとに大きく異なる傾向があり、季節性かあるいはその他の要因に影響されることがわかる。

⁶ “Pellagra breaks out in famine-hit Zambia”
(<http://reliefweb.int/report/zambia/pellagra-breaks-out-famine-hit-zambia>)

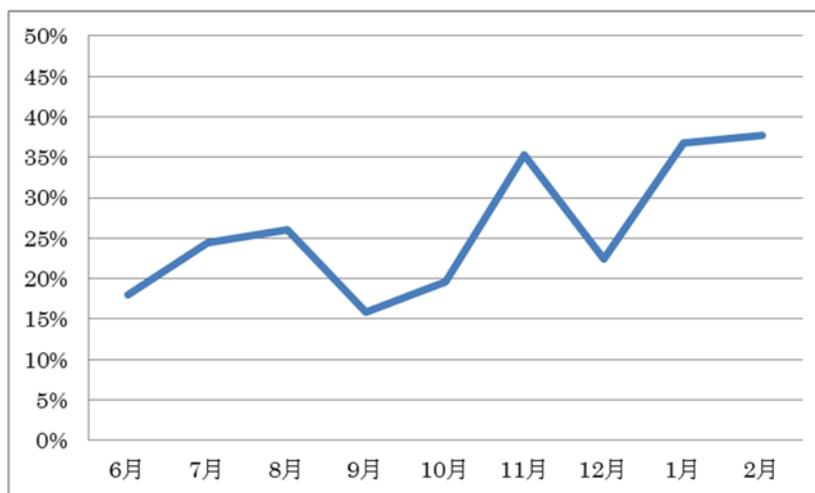
図 8:ザンビアにおける副食の変化

* 縦軸は全世帯中（約 50 世帯）何%の家庭がその食品を摂取したかをあらわしている。



それに加えて食べ合わせの問題なども考えられる事から、本プロジェクト期間中にプロテインを豊富に含む食べ物（魚・肉・卵・乳製品・豆類）をまったく摂取していなかった世帯の割合を月ごとにプロットしたものが図 9 である。こちらを見ると期間中に 15-40%と差があるものの 2012 年 10 月から 2013 年 2 月にかけて割合は上昇する傾向が確認できる。

図 9:タンパク質を豊富に含む食べ物（魚・肉・卵・乳製品・豆類）をまったく摂取していない人の割合



人間の成長には遺伝的要因と環境的要因の両方が影響しているものの、この年代の子供は、より環境的要因に影響を受けると言われている。調査地では、主食・副食ともに摂取量が十分でなく、図 9 に見られるように、10 月から 2 月にかけて慢性的にタンパク質の摂取が特に不足しがちになることが、今回の分析で明らかになった。この結果が示しているように、調査地における子供の発育を阻害している要因の一つが栄養素を豊富に含む食べ物へのアクセスが不十分だという事である。それゆえ、スピルリナは 5 歳未満の子供の発育に顕著な改善をもたらすことが期待できる。

6. 論点

6.1 WAZ と MUACZ

WAZ と MUACZ について有意な効果が見られなかったことについては、次の 3 つの理由が考えられる。

- A) スクリーニング時点での HAZ の被験者の平均が約-2.25 ポイントであり、「低身長」の基準の-2 を下回っているのに対し、WAZ は約-0.7 ポイント、MUACZ は約-0.11 ポイントで、これらの 2 指標はそれほど深刻な値ではなかったため、もともとの改善余地が少なかった可能性がある。
- B) スピルリナの投与によって亜鉛や鉄分、タンパク質、ミネラルといった微量栄養素の補給が期待されるものの、10g 中に含まれるカロリーはあまり高くない。微量栄養素の摂取が不可欠な身長とは対照的に、体重や上腕囲に対してはカロリー摂取そのものが大きな影響を与える。このためスピルリナの影響がみられなかったのかもしれない。この点で本効果測定結果はそれぞれの指標の性質の違いを反映しているといえる。
- C) 体重と MUAC は季節要因や個人のある時点の特有な要因（病気・食生活・生活習慣など）に影響を受けやすい指標であることから月ごとの変動が大きく、スピルリナの効果があったとしても、その他の要因によってその効果が

統計的に有意な差として検出されにくかったのかもしれない。

一方で今回は 9 ヶ月と比較的短期の調査であり、長期的には WAZ と MUACZ への効果も期待されることから、スピルリナがこれらの指標にどのような影響を与えるかは大規模かつより長期的な調査による検証が待たれる。

6.2 分析の限界

また分析の限界として、研究デザインに起因する 3 つの点について述べたい。

- A) 1 つ目は研究デザイン自体の限界である。今回の調査設計はプラセボなどを用いた二重盲検試験ではなく、お粥の粉の色から被験者が、自分が介入群と対照群のどちらかなのかが分かるようになっている。そのため、調査期間中の行動によっては、結果が純粋なスピルリナの効果を反映していない可能性がある。
- B) またコンプライアンスに起因する問題も考えられる。例えば、全ての被験者が決められた通りお粥を消費していれば問題ないが、仮にお粥を消費せずに販売したり、他の子供に分けるような行動を取っていたりすると、お粥の消費量が介入群と対照群で同じではなくなる。⁷一方で、介入群・対照群が被験者に分かるように設計されていることは、ミルミルにスピルリナを添加した場合の、添加しなかった場合と比べた受容性を考慮したデザインになっているともいえる。したがって今回全ての栄養指標で正の係数が出たことは、スピルリナに対して抵抗のある子供がいたとしても、それによる消費量の減少分は、少なくともスピルリナの効果と相殺するほど大きくなかったことを示しているといえよう。
- C) 最後に参加者数の少なさにより、数人の観察打ち切りが結果に少なからず影響を与えた可能性がある。つまり標本の調査期間内での脱落について、その理由が介入群かどうかと相関を持ち、かつスピルリナの効果に

⁷ バイアスの方向は必ずしも定まらない。例えば、対照群の方のみお粥を販売しているとすると、対照群のお粥の消費量が少なくなるから上方バイアスが生まれる一方で、お粥を販売することで現金収入が生まれる。(他の食事介入など) 所得効果によって栄養指標が改善すれば下方バイアスが生じる。一方お粥を減らしたことで、母親がその他の食事介入を意識的に増やせば、相対的に介入群のその他の食事介入が少なくなるから、これも下方バイアスが生じる。

影響を与えるような変数と相関を持つ場合、結果にバイアスが生じてしまう。例えば、介入群で脱落した理由が父親の反対にあったことだとすると、それが宗教上・民族上の背景（サタニズムという考え方など）があるとすると、脱落者が介入群の特定の民族・宗教に偏ってしまう。仮に生活習慣や食生活が民族・宗教間で異なっているとすると、成長の傾向が介入群・対照群で異なってしまうので結果にバイアスが生じる。

6.3 先行研究との比較

スピルリナの効果を検証した先行研究として、J. Simpore 他 (2005)が子供を HIV の疾患の有無および介入/対照から 4 つのグループに分け、身体測定と血液検査の両方からスピルリナの効果があったと報告しており、とりわけ HIV が陰性の子供に対して効果があったとしている。また同じグループが行った調査で J.Simpore 他 (2006) があり、スピルリナとミソラ (millet, coja, peanut) の両方を摂取したグループが、それぞれ単独で摂取したグループと比べ栄養失調の回復が大きかったことを示している。

これらの研究は、WAZ・WHZ を指標として栄養不良からの回復にスピルリナが有効であることを主張しているが、慢性的栄養失調 (Stunting) の緩和にスピルリナが有効であるということを示した研究は我々の知る限りでは本研究が初めてである。また、臨床試験に近い形でのスピルリナの効果の測定はザンビアのみならず、南部アフリカでは本研究が初めてであり、ザンビアで広く食べられているお粥との食べ合わせにおいても、スピルリナが栄養改善に一定の効果がある事が示唆された。

6.4 その他の評価

本調査では HAZ、WAZ、MUACZ の定量的なデータに絞った分析を実施した。一方で、スピルリナの効果は上記指標以外にも様々な面で体調に影響を与えることが種々の調査から明らかになっている。4.1.3 項において触れたように本調査中に実施した聞き取り調査の結果、介入群で有意にマラリアの罹患者数が少なかった事が確認された。スピルリナには免疫システムを活発にさせる効果が

ある事が知られており (Karkos, et al. 2011)、またマラリアは自然免疫・獲得免疫によって一定程度マラリアの発症が抑えられる事が知られている(Osier, et al. 2008)。それぞれの免疫システムの反応が関連したものであるかは判断できないため、スピルリナがマラリアへの感受性に影響を与えたかどうかは本調査だけでは断定できないが、その可能性を示唆するものである。

7. 結論

本研究は、ザンビアで 60 人の栄養不良児に対して栄養介入を行い、半数ずつを介入群・比較群とした上で、介入群にのみ毎日スピルリナを 10g ずつ投与することで、日常的なスピルリナの摂取が栄養不良児の発育に与える効果を検証した。発育を計測する指標としては HAZ・WAZ・MUACZ という身長・体重・上腕囲を標準化したものを用いた。結果は、WAZ と MUACZ については、それぞれ約 0.086 ポイント(WAZ)、約 0.377 ポイント(MUACZ)、平均して介入群の方が改善が進んでいたものの、統計的に有意な差ではなかった。そのため、今回の調査から体重・上腕囲に対するスピルリナの効果の有無を結論付けることはできなかった。一方、HAZ については 10%水準で統計的に有意な効果がみられた。スピルリナを投与したことで、介入群の方が平均して 0.231 ポイント対照群よりも改善していた。今回はサンプル数が 60 と小規模であったにもかかわらず、HAZ に対して統計的に有意な差が見られたことは、「低身長」が深刻なザンビアにおいてはスピルリナが栄養介入に有効な手段になりうることを示唆しているといえる。

Appendix

現地駐在員、プロジェクト参加者からその他の身体の変化についての報告が寄せられている。量的分析を行った上記の結果とは別に、定性的な結果として報告する。

1. 現地駐在員のコメント

9ヶ月間(延長3ヶ月)、スピルリナポレッジを一日二回摂取した結果、発育発達以外にも予想以上の効果があがったように思います。ザンビアには

馴染まない緑色の食品「スピルリナ」を摂取することは、スピリナを与えるお母さん方にとっても、摂取する子どもたちにとっても挑戦の日々だったと思います。

「体重が増加し、とても活動的になった」、「肌の調子が良くなった」と言うお母さん方のコメントも多くあり、スピルリナの効果が目に見えてわかるようになりました。また私が興味をもったのは、「野菜嫌いがなくなり、好き嫌いなく野菜が食べられるようになった」、「ポレッジを時間通りにあげる習慣がついた」など、彼らの食生活が見直され、改善されたということです。スピルリナの効果ももちろんあると思いますが、このスピルリナプロジェクトを通して食生活が見直され、彼らにとって基本的な食生活について考えるとても良い機会になったのではと思いました。

2. PJ参加者（母親）からのコメント（出所：カナカクタパ村最終ミーティング議事録）（T：介入群、C：対照群）

- ・プロジェクトが始まってから、食事のスタイルはかわっていない。（C/T）
- ・体重が増加し、とても活動的になった。（C/T）
- ・肌の調子も良くなったので、プロジェクトを延長して もら いたい。（C/T）
- ・最初はスピルリナポレッジを食べられなかったが、時間 が経つにつれ、食べられるようになった。（T）
- ・プロジェクトが終わってから、子どもに「ポレッジ作らないの？」と言われた。（T）
- ・プロジェクトが始まった時に周りの人たちが「サタニズム」と言うので、恐れていた。（T/C）
- ・ポレッジを時間通りにあげる習慣がついたので、時間通りにあげないと子どもが「ポレッジを作って！」と言ってくるようになった。（T/C）
- ・食欲が増した（T/C）

- ・以前は野菜嫌いだったが、野菜を食べるようになった (T)
- ・何でも好き嫌いなく食べられるようになった (C/T)
- ・お粥を作る時間を長くした (T/C)
- ・お粥をあげる時間を守るようになった (T/C)
- ・とても健康的になった (T/C)

Reference

- [1] BhuttaZA et al. [2008] “Maternal and Child Undernutrition 3. What works? Interventions for maternal and child undernutrition and survival.” *Lancet*, vol.371 (9610) p417-440
- [2] Chatt,C. and Robert, L. [2010] ”Access to, and the delivery of, free healthcare in Kanakantapa, and rural Zambia” , *African Journal of Health Science* , vol.14(3-4), p15-25
- [3] Food and Agriculture Organization [2010] “Nutrition country profile the republic of Zambia”
- [4] Kim,F.M. et al. [2009] “Choice of foods and ingredients for moderately malnourished children 6 months to 5 years of age” , *Food and Nutrition Bulletin*,S343-404
- [5] KarkosDP, et al. [2011] [2011]P, utrition Bullitain,S343-404nts for moderately malnourished cEvidence-Based Complementary and Alternative Medicine.
- [5] Ministry of Health Zambia [2005] “Fourth National Health Strategic Plan 2006 – 2010”, p22-24
- [6] PelletierDL., Frongillo. E. A., Schroeder D.G., and Habicht J.P. [1995] “The effect of malnutrition on child mortality in developing countries.” *Bulletin World Health Organization*, vol.73(4) p443-448
- [7] OsierFH, et al. [2008] “2008] , et al. ealth OrganizationG., and Habicht J.P. [1995] “The effect of malnutrition on child mortality in developing countries.” *Infect Immun* vol.76(5), 2240-2248.
- [8] Simpure,J et al [2005] “Nutrition Rahabilitation of the HIV-Infected and Negative Undernourished Children Utlizion Spiruline, *Pakistan Journal of Biological Science* 8 (4):p589-595

- [9] Simpoire J, et al. [2006] "Nutrition rehabilitation of undernourished children utilizing Spirulina and Misola." *NutrJ. Vol5(3)*
- [10] UNICEF [2013] "Improving child nutrition. The achievable imperative for global progress"
- [11] Woodridge, J. M. [2012] "Economic analysis of cross section and panel data 2nd edition", Cambridge, *the MIT press, p146-150*
- [12] World Health Organization Department of Nutrition [2011]
- [13] Zambia Central Statistical Office [2007], Zambia Demographic and Health Survey 2007