修士学位論文

自由意志信念の向社会的行動への影響とその脳メカニズム
The effect on belief in free will for prosocial behavior and its neural basis

（西暦）　2017 年　1 月　6 日　提出

首都大学東京大学院
人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻
フロンティアヘルスサイエンス学域
学修番号：15898602
氏　名：北地　雄

（指導教員名：菊池　吉晃 先生）

（西暦）2016年度　博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名

自由意志信念の向社会的行動への影響とその脳メカニズム

The effect on belief in free will for prosocial behavior and its neural basis

学位の種類：　修士（健康科学）

首都大学東京大学院　人間健康科学研究科

博士前期課程 人間健康科学専攻 フロンティアヘルスサイエンス学域

学修番号：15898602

氏　名：北地　雄

（指導教員名：菊池　吉晃　先生）

【要旨】

自由意志はおもに哲学の領域で古くから議論されている．近年，自由意志の科学的研究が増加している．その中の一つに自由意志信念の研究がある．自由意志信念とは自由意志の存在を信じるかどうかということである．この信念は変化するものであり，信念の程度により様々な帰結が異なることが明らかになっている．しかしながら，ほとんどの研究が行動学的研究であり，その脳メカニズムを調べているものはほとんどない．本研究の目的は，自由意志信念の心理学的操作が向社会的行動や脳活動に与える影響を調べることである．対象は右利きの若年健常成人男性16名であった．1名はMRI機器の不具合により解析から除外された（年齢23.3±1.4歳）．対象者はMRIスキャンを行いながら向社会的判断を求められた．自由意志信念の心理学的操作に対する向社会的行動の影響を調べるため以下の手順で行った；向社会的判断条件，コントロール操作条件，向社会的判断条件，自由意志の心理学的操作，向社会的判断条件．向社会的判断はそれぞれ8ブロックずつ行った．コントロール条件は自然的事実が記述された文章を，自由意志の心理学的操作は自由意志の存在を否定する文章を読むことから成った．文章提示は12秒であり，これらはそれぞれ14ブロック行った．行動学的解析は向社会的判断の変化をrepeated measures ANOVAを用いて比較した．機能的脳画像解析はSPMを用いて行った．行動学的解析の結果，自由意志信念は向社会的判断に影響を及ぼさないことが判明した．脳活動の解析の結果，向社会的判断条件の脳活動に対するコントロール条件の影響が運動関連領野中心である一方で，自由意志信念の心理学操作の影響は前頭極，眼窩前頭前野，側頭頭頂接合部など社会性に関わる脳領域において見出された．実験順序の影響を取り除いても左側頭頭頂接合部の有意な賦活が観察された．自由意志信念の向社会的行動に対する影響は見いだせなかったが，脳活動からは何かしら意味のある影響が示唆された．

Key words：自由意志信念，向社会的行動，心理学的操作，脳活動

【Abstract】

Free will has been thus far mainly discussed in Philosophy. Scientific research has recently been executed to investigate the belief in free will, which is the belief as to whether we believe the existence of free will or not. This belief is variable, and it has been shown that the outcomes depend on the belief variations. However, almost all these studies are behavioral ones, and there are few studies investigating the brain mechanisms. The purpose of present study is to investigate whether psychological manipulation of free will belief influences prosocial behavior and the brain activation. Subjects were right handed 15 healthy young adult male volunteers (mean age 23.3 ± 1.4 years). Subjects were asked to make prosocial decisions while undergoing fMRI scan. To investigate the effects of manipulation of free will belief on prosocial decision-making, the task sequences were as follows; prosocial decision-making, control condition, prosocial decision-making, manipulation of free will belief, and prosocial decision-making. The control and manipulation of free will conditions were to read the sentences described the truth of nature and denying the existence of free will, respectively. Behavioral analysis was performed using repeated measures ANOVA for comparison the change of prosocial decision-making. Image processing and statistical analysis were performed using SPM8. Behavioral result was that manipulation of free will belief did not exert any influence on prosocial decision-makings. On the other hand, compared with the control condition, the social-related areas of the brain (e.g., orbitofrontal cortex, temporo-parietal junction (TPJ)) were involved in the manipulation condition. Furthermore, even by excluding effects of task sequence, free will manipulation yielded deactivation of left TPJ. It is suggested that free will manipulation exerted some influences on brain activation.
Key words : belief in free will, prosocial behavior, psychological manipulation, brain activation

1. 緒言

人生は選択の連続であり，どの学校を受験するのか，どの会社に入社するのかから，休日に何をして過ごすのか，果ては今晩のおかずを何にするのかまで，その重要度にかかわらず，絶えず選択を繰り返すことを求められる．ほとんどの人は，これらの選択が疑いもなく自分の自由な意志によって行われたと信じている．このような「自由な意志による選択」は自由意志と呼ばれ，おもに哲学の領域で議論されてきた．これらの議論はおもに自由意志が存在するか否かであり，対極的な概念である決定論との両立性という問題のもとで議論が進められてきた [1)]．なお簡単に，決定論とは，人間の行動が単純に先行する出来事に起因する，必然的で正当な因果によって生じると仮定するものである [2)]．自由意志が存在すると考える立場をリバタリアニズム（libertarianism），自由意志が存在せず，世界は決定論的であると考える立場を強い決定論（hard determinism），世界が決定論的であることを認めつつも，自由意志も存在すると考える立場を両立論（compatibilism）あるいは弱い決定論（soft determinism）と呼ぶ．現在，自由意志の存在について，決定的な影響力を持つ主張，あるいは実証的な研究はないため，上記 3 つの立場を主張する議論は結論を得ていない [3)]．しかしこれらの議論により，自由意志がどのような概念として扱われているか明確となった．それは他行為可能性（alternative possibility）と行為者性（agency）である．他行為可能性とは読んで字のごとく，そうでないこともすることができる（た）ということである．しかしながら他行為可能性は，実際に選択される（た）行為が決定論とは異なる理由により生じる（た）こと，すなわち自由意志により生じる（た）ことを証明する必要があるというある意味でのトートロジーを生じさせる．行為者性とは，Stanford Encyclopedia of Philosophy[4)] によると行為を行う能力のある者がこの能力を行使，あるいは明示することであり，行為の意図性と解釈できる．行為者性は，他行為が不可能である場合でも，該当行為を意図していたか否かを問うことができるという利点があるが，他行為可能性と同様の欠点がある．つまり，意図がどのように生じるのかを決定論とは異なる理由により説明しなければならない．なお，これらは「罪を犯す意思がない行為は，罰しない」という刑法 38 条 1 項とも大いに関連し，哲学に限定されない非常に大きな議論である．以上が，哲学的議論による自由意志の概略である．

未だに決着のつかない，そして哲学であるがゆえに今後も決着がつかないであろう哲学的議論を傍らに，自由意志を主題にした科学的研究が近年になって増加している．その一つに自由意志信念（belief in free will）がある．自由意志信念とは，自由意志に対する対象者の信念のことであり，自分を含めたヒトをどのような動物とみなし，人生の様々な出来事に対する態度と考えることができる．心理学者である Baumeister は，自由意志が存在するか否かの議論はひとまず棚に上げ，一般の人々が自由意志をどのような概念として捉え，どの程度信じ，そしてそれらがもたらす帰結を調べる方が有効であると論じた [5)]．この主張の背景には，一般的な人々は自由意志の存在を信じていること [6-9)]，自由意志を信じる程度の個人差により生活満足度 [10, 11)]，職業成績 [12)]，学業成績や自己制御 [13)]，自尊感情 [9)]，懲罰傾向 [9, 14)]，利他性 [15)] などの違いがある．

一般的な人々の自由意志信念は比較的安定しているものの変動しうる [16)]．例えば，Ent

ら[17]は性的欲求，身体疲労感，尿意を感じているとき自由意志信念が低下することを示した．このような身体的な状態変化による影響以外にも，心理学的な操作により自由意志信念が変化する[18-21]．前述したように，一般的な人々は自由意志を信じているので，多くの研究で自由意志信念を強化する心理学的操作は統制条件の操作と差がない．一方で，Vohs[18]やBaumeister[19]は自由意志の存在を否定する（例えば，DNAの二重螺旋構造の発見によりノーベル生理学・医学賞を受賞したFrancis Crickの著書"Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul"の一節を読ませる），あるいは決定論を強く肯定する文章を被験者に読ませることで自由意志信念を低下させた．このような操作により被験者の自由意志信念が低下すると，不正行為が増加[18]，向社会的行動が減少し攻撃性が増加[19]，同調性が増加した[20]．このような研究で，対象者の特性的な自由意志信念を評価するスケールはFree Will and Determinism Plus Scale（以下，FAD+）[7]やFree Will and Determinism Scale（以下，FWDS）[9]が使用されることが多い．FAD+は全27項目の質問からなり，対象者は1（全くそう思わない）から5（非常にそう思う）のスケールで答える．このスケールは対象者の自由意志（以下，FW; Free Will)，運命論的決定論（以下，FD; Fatalistic Determinism），科学的決定論（以下，SD; Scientific Determinism)，および予測不可能性（以下，UP; Unpredictability）の4因子に分けられ，自由意志信念と決定論的信念を別々に評価可能であり，両立論の程度を推測することを許す[6]．FAD+の結果の解釈は明確にされていないが，開発したPaulhus[7]によると，下位項目であるFWの平均点は3.5点であり，理論的中点を超えているため自由意志信念が強いと解釈される．FWDSは，全22項目の質問からなり回答のスケールがFAD+と同様である一方で，自由意志と決定論を対極するものとして扱い，一方の信念の増加が他方の信念の減少をもたらすよう作成されている．FWDSは自由意志信念を「私」に特異的なもの（以下，PF; Personal Free will）と一般的な「ヒト」についてのもの（以下，GF; General Free will）に分けて評価することが可能である．FWDSも結果の解釈について明確になっていないが，開発したRakos[9]によると，FWDSの平均値は可能な尺度得点の範囲の79%に達しており自由意志の存在を信じていると解釈される．自由意志信念の心理学的操作と社会的行動変化の関係を調べている先行研究をまとめると[18-21]，自由意志信念を評価する尺度の総点やその他の下位項目というよりも，自由意志信念の強弱という個人差や操作による低下により社会的行動変化が起こるようである．このように，自由意志信念は，その個人差が様々な帰結と関連するのみでなく，個人内で比較的安定しているものの心理学的操作により変動し，その変化により行動変化がもたらされる．特に，自由意志信念の低下による社会的行動の変化は注目に値する．「ヒトは社会的な動物である」とはよく使用される表現であるが[例えば 22, 23]，Baumeisterはヒトの進化と社会性および自由意志の関連を主張している．その主張によると，自由意志と関連する重要な特性が自己制御（self-control）と合理的選択（rational choice）であり，社会的な集団生活を営むためにまず自己制御が進化し，次に文化を使用するために合理的選択が進化した[2, 5]．しかしながら自由意志の行使にはあるエネルギーを必要とし，自由意志は通常起動しているような本能や反射に対して時折の変化を起こすものである[2]．実際に，ヒトが自己制御[24, 25]，選択[26]課題などを行った後，次の

自己制御課題の成績が低下する．さらにGailliot ら[27]はこれらのような自己制御課題の実行が血液内のグルコースレベルの減少をもたらし，これが次の課題における自己制御課題成績の低下と強力に関連することを示した．さらに，向社会的行動（prosocial behavior）あるいは利他的行動（altruistic behavior）とは自分自身にコストがあっても他者へ福利を提供することであり[28]，ヒトにユニークな特徴である[29]．これらのことは，自由意志信念の低下がヒトに自己制御を働かせ，向社会的に振る舞うコストを払わなくさせる[19]という推論をもたらす．このように，近年，自由意志信念に関する行動学的研究が増加しているものの，その脳メカニズムに関する研究はほとんど行われていない．自由を求め，自由意志の存在を信じることは人間の基本的な精神メカニズムであり[2]，特性的な自由意志信念，あるいは自由意志信念の変化によりヒトの社会的行動が変化するため，その脳機能を解明することはきわめて重要である．

したがって最後に，自由意志に関する神経科学的研究を概観する．これらの研究はその方法論的な難しさから極めて少ない．関連する最も有名な研究の一つであるLibet[30]は，脳波を用いて，運動を起こすという意志に先立ち，脳の補足運動野に運動準備電位が発生することを見出した．この結果の自由意志の存在に関する代表的な解釈は2つある．一方は，脳活動が意識的な意志に先立つため，自由意志はないとするものであり，他方は運動準備電位が発生してもなお運動の実行を中止することは可能であるとする自由否定（free won't）であり，自由意志の存在の可能性を残すものである．機能的磁気共鳴画像法（functional Magnetic Resonance Imaging；以下，fMRI）を用いて類似の研究を行ったSoon ら[31]は，左手か右手のボタン押しを自由選択により行う運動が，約60%の正確性であるものの，実行の約10秒前に前頭極皮質，楔前部から後帯状皮質に広がる頭頂皮質において予測可能であることを示した．これらはいずれも，脳活動が意識的な意志決定に先立つことを示したものである．Rigoni ら[32]は，Libet のいわゆるclock taskを用い，心理学的操作による自由意志信念の低下の影響を調べた．結果は，被験者の意識的な意志決定の1秒前の運動準備電位が低下することを示し，著者らは心理学的操作が意図的行為の前意識的段階に影響を及ぼすと示唆した．Krueger ら[33]はfMRIを用いて自由意志信念の個人差と懲罰傾向について調べた．結果は，強い感情をもたらさない犯罪に対してであるが，自由意志信念が強いと懲罰傾向が高いという先行研究[9,14]を支持するものとともに，これが右側頭頭頂接合部（temporo-parietal junction；以下，TPJ）の活動と関連したことを報告した．なお，TPJは視点取得に関連する領域とされ，social brain の一つとされる[34]．これらから以下の推論が導ける．特性的な自由意志信念の個人差がヒトの社会的行動の個人差をもたらすのみでなく，自由意志信念の変化も社会的行動の変化をもたらす．そしてこれらの神経基盤は運動準備電位に関わる補足運動野，あるいは視点取得に関わるTPJの活動変化と関わる可能性がある．または，ヒトの社会的行動の変化が前頭極皮質や楔前部の活動から予測できる可能性がある．

しかしながら，自由意志信念の変化と社会的行動の変化に関わる脳メカニズムは調べられていない．本研究の目的はこれらに関わる脳機能を調べることであり，自由意志信念の心理学的操作によって，向社会的行動や脳活動に変化が生じるのかについて検討した．

2. 方法

2.1. 対象

16名の右利きの若年健常成人男性がリクルートされ，以下のfMRI実験を行った．利き手の確認は Edinburgh Handedness Inventory[35] を使用した．1名の被験者はMRI機器の不具合により実験を途中で中止したため解析から除外された．したがって，すべての統計学的分析は残りの15名のデータに対して行われた（平均年齢23.3±1.4歳）．神経学的，精神的疾患の既往を有する対象者はいなかった．すべての対象者は事前に書面および口頭にて研究の説明と同意が得られた．本研究はヘルシンキ宣言に則って行われ，首都大学東京荒川キャンパス研究安全倫理委員会（承認番号 16058）の承認を得て行われた．

2.2. fMRI実験前における心理学的調査

以下に記述する心理学的調査のためのすべての質問紙は，誰でも自由に使用可能な評価尺度である．対象者はfMRI実験の前日までに質問紙を終わらせることを求められた．実施日はfMRI実験の1週間前からであり，各対象者の最も都合の良い時間とした．自由意志信念はFAD+とFWDSを用いて評価した．FAD+の信頼性に関するα係数は0.65であり，テストリテスト信頼性は0.76である[19]．FWDSのα係数は0.72と報告されている[36]．質問紙の回答や，fMRI実験の向社会的行動傾向を問うものに対する対象者の作為的な回答傾向を調べるために，Balanced Inventory of Desirable Responding measure（以下，BIDR）[37] を使用した．BIDRは全40項目あり広く使用される尺度であり[38]，自己欺瞞（Self-deception）と印象操作（Impression management）の下位尺度が20項目ずつある．それぞれ無意識的に社会的に望ましい回答をしてしまう傾向と，故意に社会的に望ましい回答をしてしまう傾向を調べることができる[37]．BIDRの信頼性に関するα係数は0.68から0.86であり，テストリテスト信頼性は0.65から0.69である[39]．自尊感情は向社会的行動[40,41]とも，自由意志信念[9]とも関連する特性であり，結果の解釈に影響を及ぼす可能性がある．自尊感情はRosenbergのSelf-Esteem Scale[42]を用いて評価した（以下，SES）．SESは全10項目あり，信頼性に関する級内相関係数は0.85から0.89である[43]．気分は向社会的行動と強力に関連するだけでなく[44,45]，自由意志信念にも影響を及ぼす可能性がある．気分は Positive Negative Affective Schedule（以下，PANAS）[46] を用いて評価した．PANASは全20項目あり，ポジティブな側面とネガティブな側面の10項目ずつからなる．信頼性に関するα係数は0.84から0.90であり，テストリテスト信頼性は0.47から0.68である[46]．さらに，向社会的行動と強く関連する利他性，共感性，向社会的行動傾向そのものも，それぞれ Self-Report Altruism scale（以下，SRA）[47]，Interpersonal Reactivity Index（以下，IRI）[48]，Prosocial Personality Battery（以下，PSB）[49] を用いて評価した．利他性とは一般的に利己的な動機がなく，純粋に他者の福利に動機づけられることであり[50]，向社会的行動の一部である．RushtonのSRAの質問項目は，必ずしもこの定義にあてはまるものばかりではないが，一般的に広く知られた向社会的傾向性を調べる評価尺度である．SRAは全20項目あり，信頼性に関するα係数は0.89である[47]．IRIは全28項目であり，共感の認知的側面である視点取得（Perspective taking），情動的側面である共感的配慮

（Empathic concern），空想（Fantasy），および個人的苦悩（Personal distress）の 4 次元から共感を評価するものである．IRI の信頼性に関する α 係数は 0.71 から 0.77 であり，テストリテスト信頼性は 0.62 から 0.71 である[51]．PSB は全 56 項目あり，下位項目は社会的責任（以下，SR；Social Responsibility），共感的配慮（以下，PSB-EC；Empathic Concern），視点取得（以下，PSB-PT；Perspective Taking），個人的苦悩（以下，PSB-PD；Personal Distress），他者志向的道徳判断（以下，O；other-oriented moral reasoning），道徳判断の相互的配慮（以下，M；mutual-concerns moral reasoning），利他性（以下，A；Altruism）の次元で構成され，信頼性に関する α 係数は 0.51 から 0.83 である[49]．また，PSB は下位項目である SR，PSB-EC，PSB-PT，O，M の点数を足すことで他者志向的共感（Other-oriented Empathy）を，PSB-PD の逆転採点と A の点数を足すことで helpfulness を評価することができる．

2.3. fMRI 実験

fMRI 実験において，対象者は向社会的判断条件，決定論条件，コントロール条件の 3 条件から成るブロックデザインパラダイムを行った（Fig. 1A）．向社会的判断条件は，対象者がスクリーン上に提示された向社会的判断を求められる文章を読む（文章提示期；12 秒），最もあてはあると思う回答を 4 ポイントスケール（4＝ 絶対に行う，1＝絶対に行わない）で右手のボタン押しによって回答する（ボタン押し反応期；3 秒，以下，RT-pre [pre-social 時の反応時間]，RT-mid [mid-social 時の反応時間]，RT-post [post-social 時の反応時間]）ことから成った．したがって，点数が高いほど向社会的判断をしたということとなる．向社会的判断を求められる文章間は 6 秒の固視点が提示された（Fig. 1B）．向社会的判断に使用した文章は Caprara ら[52]および Carlo ら[53]における向社会性を評価する心理測定尺度を参考に自作した．自作した文章は，向社会的行動に影響を及ぼし，かつ本研究において関心の薄い因子である傍観者効果（bystander effect），互恵性（reciprocity），集団帰属（social identity），親密性（familiarity），社会的地位（social status），評判（reputation）の影響がないよう配慮し作成した．さらに，対象者には具体的に，「想定する相手は初対面であり，この一度限りで 2 度と会うことはない人である．また，周囲に他者はいない状況を想定する」よう依頼した．対象者に指示の意図が伝わるよう，「どのような行動をとってもそれが評判として広がったり，良いまたは悪い見返りがあったりはしないが，誰かに頼れるような状況でもない」と補足説明も加えた．集団帰属，親密性，社会的地位に関して明示的な言及は行わなかったが，匿名の他者を想定するため，これらに対してはニュートラルな影響となると考えられる．このように，本研究における fMRI 実験中の向社会的判断は純粋に利他性に動機づけられたものとなると考えられる．決定論条件およびコントロール条件は，それぞれ決定論的世界観および自然的事実が記述された文章を読む（文章提示期；12 秒）ことから成り，文章間は 3 秒の固視点が提示された（Fig. 1B）．決定論的世界観および自然的事実を記述した文章は，先行研究[19]および私信[54]を参考に改変し作成した．文章提示やそのタイミングをコントロールするために Presentation®（Neurobehavioral System 社製，version 14.0）を使用した．対象者は向社会的判断条件（以下，pre-social），コントロール条件，向社会的判断条件（以下，mid-social），決定論条件，および向社会的判断条件（以下，post-social）

の順で刺激が提示された（Fig. 1A）．向社会的判断条件は文章提示，ボタン押し反応，および固視点提示を1ブロックとし，それぞれ8ブロック実施した．向社会的判断条件における提示文章は上記のように十分配慮して作成しているが，さらに提示文章の効果を調整するため，各条件間で提示される文章は準ランダム化し提示した．コントロール条件，決定論条件は文章提示，固視点提示を1ブロックとし，14ブロック実施した．各条件の切り替え時には，それを指示する提示文章（6秒）と固視点（6秒）を提示した（Fig. 1B）．

fMRIスキャンは3T MRIスキャナー（Philips社製, Achieva Quasar Dual）を使用した．Blood oxygenation level-dependent（以下，BOLD）T2*強調MR信号はgradient echo-planar imaging（EPI）シーケンスを使用して計測した．一連の実験において，各対象者から5mm厚の連続25切片による328ボリュームが撮像された（repetition time [TR] = 3,000ms, echo time [TE] = 35ms, flip angle [FA] = 90°, field of view [FOV] = 230mm2, scan matrix=128×128, total scan time=984s）．

2.4. 行動学的データ解析

MRIスキャン中に行った向社会的判断の回答点数は，pre-，mid-，post-social条件における8ブロックそれぞれの合計点を算出した．先行研究から，対象者の特性的な自由意志信念の個人差が対象者の向社会的行動に影響を及ぼすと推測されるが，その他にも向社会的行動に影響を及ぼす因子がある．対象者の自由意志信念と社会的行動に共通に関連する交絡因子的な特性を明らかにするため，FAD+，FWDS それぞれの合計点，および特に自由意志に関連する下位項目（FAD+のFWとFWDSのGFおよびPF）の点数と，MRIスキャン中の向社会的判断条件における回答点数を含め，自由意志信念あるいは向社会的行動との関連性が報告されている質問紙（SES, PANAS, SRA, IRI, PSB）との相関係数を計算した．また，対象者の社会的望ましさが向社会的判断における回答を歪めてしまう可能性を確認するため，BIDR と向社会的判断条件における回答点数との相関係数を計算した．決定論条件における自由意志信念を低下させる操作が向社会的判断条件に与える影響を調べるため，pre-，mid-，post-social 条件を反復測定一元配置分散分析（repeated measures ANOVA）を用いて計算した．すべての行動学的データ解析はSPSS version 23.0（IBM社）を使用し，有意水準は5%とした．

2.5. fMRIデータ解析

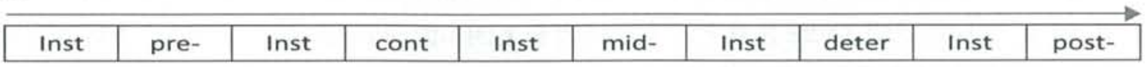
fMRI 画像の前処理および統計解析は SPM8 を使用した（Welcome Department of Cognitive Neurology, http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8/）．fMRIスキャン中の頭部運動を補正するため，fMRI画像は最初の画像へ補正した．次にfMRI画像は標準脳の一つであるMontreal Neurological Institute（MNI）EPI templateへ変換した．最後に，fMRI画像は8mmのGaussian filterを用いてフィルタリングした．

6つの条件刺激（pre-, mid-, post-social, コントロール条件，決定論条件，これら条件間の開始を指示する文章提示）およびボタン押し反応期に応じた血流動態関数（Hemodynamic Response Function; 以下，HRF）のコンボリューションは，雑音成分を取り除くための128秒のhigh-pass filterによってフィルタリングし，独立変数として一般線形モデルに組み込んだ．すべてのボクセルにおいて，この一般線形モデルは実

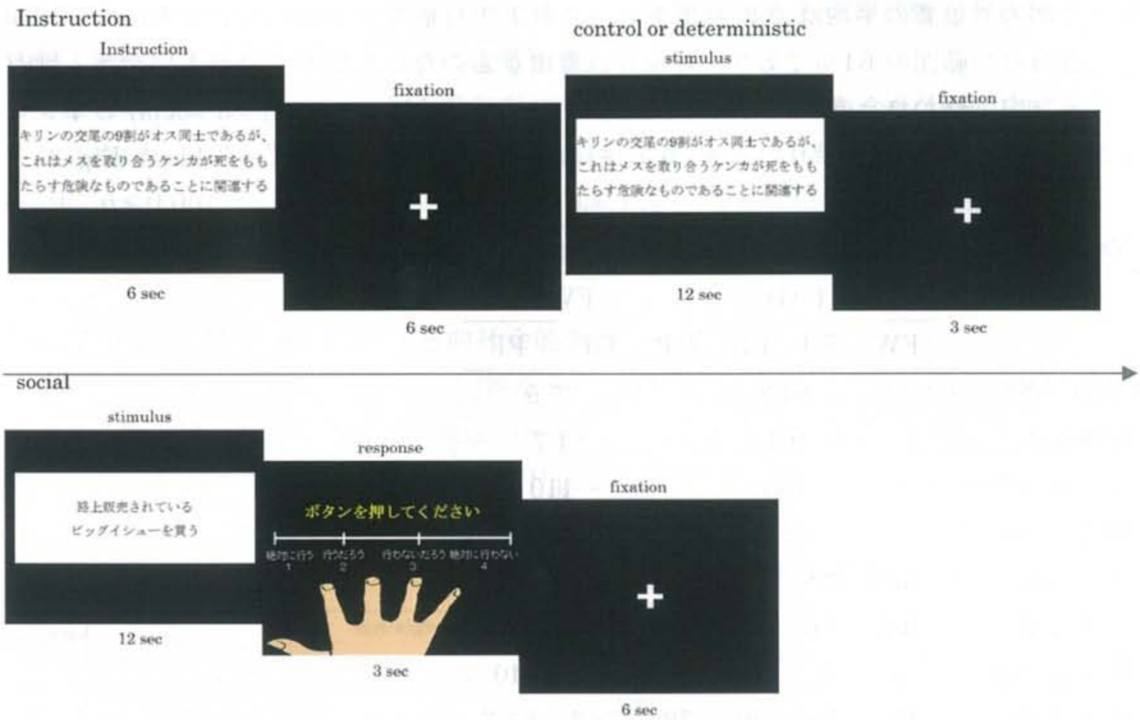
際に計測されたBOLD信号と最もよく合致するように独立変数の偏回帰係数が計算された．こうして求められた回帰係数が各条件（向社会的判断（pre, mid, post）とコントロール条件，決定論条件）に対応する脳機能画像の賦活の強さを表す．最初に，各条件における脳活動部位を解析するため，それぞれの条件間のコントラストを計算した．次に，向社会的条件間（pre-mid, mid-post, pre-postおよびこれらの逆）およびコントロール・決定論条件間およびその逆のコントラストを計算した．

Figure 1. 実験パラダイム 1

A



B



1A：実験の流れを示す．教示文章提示，向社会的判断条件（1ブロック×8），教示文章提示，コントロール条件（1ブロック×14），教示文章提示，向社会的判断条件（1ブロック×8），教示文章提示，決定論条件（1ブロック×14），教示文章提示，向社会的判断条件（1ブロック×8）となる．

1B：それぞれの刺激条件間の1ブロックの流れを示す．教示文章提示は6秒，固視点は6秒（左図）．コントロール条件および決定論条件は文章提示12秒，固視点3秒（右図）．向社会的判断条件は文章提示12秒，ボタン押し反応期3秒，固視点6秒．提示画面は左から右へ，記載の時間ごとに切り換わる．向社会的判断条件において，提示文章の効果を調整するため，各条件間で提示される文章を準ランダム化した．

Inst（Instruction）＝教示文章提示期，pre-＝最初の向社会的判断条件，cont（control）＝コントロール条件，mid-＝コントロール条件後の向社会的判断条件，deter (deterministic) ＝決定論条件，post-＝決定論条件後の向社会的判断条件

3. 結果

3.1. MRI スキャン中の向社会的判断の回答点数，反応時間，および心理学的調査の結果

対象者の行動学的データの結果を Table 1，2 に示す．Edinburgh Handedness Inventory は-100 点で完全な左利き，0 点で両利き，そして 100 点であると完全な右利きと判断される．結果から，すべての対象者は強い右利きであることが確認された（96.2 ±7.2 点）．FWDS を開発した Rakos ら[9]の大学生を対象とした調査では，FWDS, GF, および PF の平均点がそれぞれ 87.6，55.9，および 35.7 点であったが，本研究ではそれぞれ 77.9，51.6，および 26.3 点と，先行研究を下回った（Table 1）．ただし，FWDS の平均値は可能な尺度得点の範囲の 71%であり，対象者は自由意志の存在を信じているといえる．また，FAD＋を開発した Paulhus ら[7]が報告した FW の平均点は 3.5 点であり，今回の対象者の平均は 3.2 点である．これも先行研究を下回っているものの，可能な尺度得点の範囲の 64%であり，対象者は自由意志の存在を信じているといえる．MRI スキャン中に行われた向社会的判断の点数は，pre-，mid-，および post-social の 1 ブロック平均それぞれで 2.3±0.7, 2.4±0.7, および 2.4±0.6 点であった（Table 2, Fig. 2）．

Table 1. 自由意志信念と下位項目の結果（n=15）

	FAD+				FWDS	
	FW	SD	FD	UP	GF	PF
平均（点）	84.7				77.9	
標準偏差	9.4				4.7	
最大値（点）	135				110	
割合（%）	62.7				70.8	
平均（点）	3.2	2.8	2.5	3.6	51.6	26.3
標準偏差	0.5	0.6	0.9	0.4	3.8	2.3
最大値（点）	5	5	5	5	70	40
割合（%）	64	56	50	72	73.7	65.7

＊上段には尺度の合計を，下段には下位項目を記載した．

FAD+の下位項目は 1 項目ごとの平均を，FWDS の下位項目は下位項目の合計平均を記載した．

割合は可能な最大点に対する今回の平均点のパーセンテージを示す．

FAD＋＝Free Will and Determinism Plus Scale，FW＝FAD＋の下位項目としての Free Will, SD＝FAD+の下位項目としての Scientific Determinism，FD＝FAD＋の下位項目としての Fatalistic Determinism，UP＝FAD+の下位項目としての Unpredictability，FWDS＝Free Will and Determinism Scale，GF＝FWDS の下位項目としての General Free will，PF＝FWDS の下位項目としての Personal Free will

Table 2. MRI スキャン中の向社会的判断条件における回答点数と反応時間（n=15）

	Pre（点）	Mid（点）	Post（点）	RT-pre（秒）	RT-mid（秒）	RT-post（秒）
平均	2.3	2.4	2.4	1.17	0.96	0.90
標準偏差	0.7	0.7	0.6	0.26	0.26	0.30
最大値（点）	5	5	5			
割合（%）	46	48	48			

＊平均はそれぞれ 1 ブロックごとの平均を記載した.
割合は可能な最大点に対する今回の平均点のパーセンテージを示す.
Pre, Mid, Post＝pre-, mid-, post-social それぞれの向社会的判断条件, RT-pre, RT-mid, RT-post＝pre-, mid-, post-social におけるボタン押し反応時間

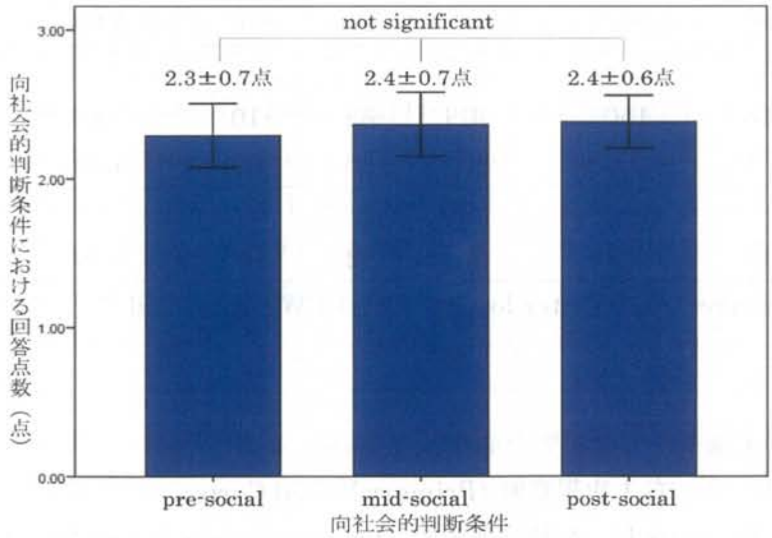
3.2. 自由意志信念と MRI スキャン中の向社会的判断における回答点数と共通に関連する個人特性および社会的望ましさによる影響

対象者の自由意志信念と向社会的行動に共通に関連する交絡因子的な特性を明らかにするため相関係数を計算した. FWDS は pre-social における回答点数と相関した（$r = 0.586$, $p < 0.05$）. 自由意志信念と向社会的判断における回答点数と共通に関連を認めた特性はなかった. BIDR と向社会的判断における回答点数に相関は認めなかった（$p > 0.05$）.

3.3. 自由意志信念の操作に対する向社会的判断の変化

pre-, mid-, post-social における回答点数を比較するため repeated measures ANOVA を計算した. Maruchly の球面性検定の結果は p=0.705 であり球面性が保証されたが, 上記 3 群に有意差は認められなかった（Fig. 2, $p > 0.05$）.

Figure 2. pre-, mid-, post-social における向社会的判断条件の回答点数



＊縦軸は向社会的判断条件における回答点数を示す. 回答点数は pre-, mid-, post-social それぞれの 1 ブロックの平均点数を記載した.

3.4. 脳活動の結果

向社会的判断条件において活動した脳部位を Table 3 に示す．pre-social において有意に活動した脳部位は左背外側前頭前野（Dorsolateral Prefrontal Cortex；以下，DLPFC），左小脳後葉（lobule Ⅵ），左 1 次感覚野（Primary Somatosensory area；以下，S1），小脳虫部（vermis Ⅸ），左運動前野（Premotor Cortex；以下，PMC），左 2 次視覚野，右小脳後葉（lobule Ⅵ），左眼窩前頭前野（Orbitofrontal Cortex；以下，OFC）であった（すべて Family Wise Error，以下 FWE corrected，$p < 0.05$）．mid-social においては右 2 次視覚野腹側（以下，V2v），左小脳後葉（crus 1）が活動した（すべて FWE，$p < 0.05$）．post-social では右 V2v が活動した（FWE，$p < 0.05$）．

Table 3. 向社会的判断条件における脳活動部位（FWE corrected，$p < 0.05$）

pre-social			Peak MNI coordinates			
活動部位	BA	Cluster Size	x	y	z	Peak Z score
左背外側前頭前野	9	32	-36	22	28	5.59
左背外側前頭前野	9		-36	28	34	5.58
左小脳後葉（lobuleⅥ）		77	-14	-82	-18	5.37
左小脳後葉（lobuleⅥ）			-18	-88	-24	5.13
左 1 次感覚野	1	58	-48	-32	54	5.22
小脳虫部（vermisⅨ）		15	-2	-58	-34	5.20
左運動前野	6	13	-38	-8	62	5.19
左 2 次視覚野	18	11	-20	-100	-4	5.15
右小脳後葉（lobuleⅥ）		36	12	-80	-16	5.11
右 2 次視覚野	18		6	-84	-8	5.04
左眼窩前頭前野	47	20	-32	26	-8	5.07
左眼窩前頭前野	47		-36	24	-16	5.00
mid-social						
右 2 次視覚野（V2v）	18	150	6	-82	-10	5.80
小脳後葉（crus Ⅰ）		11	-42	-66	-32	5.49
post-social						
右 2 次視覚野（V2v）	18	25	6	-82	-8	5.19

＊Voxel level $p < 0.05$ FWE corrected，cluster level $p < 0.01$ FWE corrected

BA＝Brodmann Area

コントロール条件および決定論条件で活動した脳部位を Table 4 に示す．コントロール条件では右小脳後葉（lobule Ⅵ），右 1 次視覚野（Primary Visual Cortex；以下，V1），左 V2v，左小脳後葉（lobule Ⅵ / crus 1），左補足運動野（Supplementary Motor Area；以下，SMA）（SMA / pre-SMA）が活動した（すべて uncorrected，$p < 0.001$）．決定論条件では右 3 次視覚野腹側（以下，V3v），右小脳後葉（lobule Ⅵ / crus 1），右 V1，左

SMA，右側頭極（Temporal Pole；以下，TP），左前頭前野三角部が活動した（すべて uncorrected，$p < 0.001$）．

Table 4. コントロールおよび決定論条件における脳活動部位（uncorrected, $p < 0.001$）						
control			Peak MNI coordinates			
活動部位	BA	Cluster size	x	y	z	Peak Z score
右小脳後葉（lobuleⅥ）		2839	16	-76	-18	4.39
右1次視覚野	17		16	-86	10	4.39
左2次視覚野（V2v）	18		-8	-94	-4	4.26
左小脳後葉（lobuleⅥ/crus Ⅰ）		73[a]	-44	-58	-24	3.53
左補足運動野	6	14[b]	-18	20	60	3.53
前補足運動野						
deterministic						
右3次視覚野　（V3v）	19	4340	26	-72	-16	4.88
右小脳後葉（lobule Ⅵ/crus Ⅰ）			22	-78	-22	4.83
右1次視覚野	17		24	-100	-4	4.77
左補足運動野	6	42[c]	-12	-10	72	3.81
右側頭極	38	23[d]	56	14	-14	3.66
右側頭極	38	13[e]	46	22	-22	3.51
左前頭前野三角部	45	85[a]	-52	18	0	3.48

＊Voxel level $p < 0.001$ uncorrected

Cluster level p [a] = 0.07，[b] p = 0.41，[c] p = 0.19，[d] p = 0.33，[e] p = 0.47，その他 $p < 0.001$ uncorrected

向社会的条件間の比較において，有意に賦活した脳部位を Table 5 に示す．pre > mid で有意な賦活部位として残った部位は右 S1，左視床下部，右1次運動野であった（すべて uncorrected, $p < 0.001$）．mid > pre では右前頭眼野（Frontal Eye Field；以下，FEF）が活動した（uncorrected, $p < 0.001$）．pre > post では左背側前頭前野，左前頭極（Frontal Pole；以下，FP），左 PMC，左中側頭回，左 OFC，左視床（Thalamus；以下 Th），左視床下部外側，左 FEF，左側頭皮質，左上頭頂小葉，右 SMA が活動した（すべて uncorrected，$p < 0.001$）．post > pre では左右海馬（Hippocampus；以下，Hipp），右橋が活動した（すべて uncorrected, $p < 0.001$）．mid > post では左角回（Angular Gyrus；以下，AG），左 PMC 皮質下，左右 FEF とその皮質下，左 Th 前部，左上丘が活動した（すべて uncorrected, $p < 0.001$）．post > mid では右海馬傍回が活動した（uncorrected, $p < 0.001$）．

Table 5. 向社会的判断条件における条件間の脳賦活部位（uncorrected，$p < 0.001$）

pre > mid			Peak MNI coordinates			
活動部位	BA	Cluster size	x	y	z	Peak Z score
右 1 次感覚野	1	49[a]	40	-28	52	3.78
右 1 次感覚野	1		42	-22	46	3.18
左視床下部		24[b]	-4	-6	-8	3.55
右 1 次運動野	4	11[c]	42	-14	52	3.20
mid > pre						
右前頭眼野	8	21[d]	32	20	42	3.69
pre > post						
左背側前頭前野	9	288	-10	56	36	4.87
左前頭極	10		-6	54	10	4.56
左前頭極	10		-4	62	26	4.40
左運動前野	6	177	-26	-2	56	4.84
左運動前野	6		-16	4	58	3.56
左運動前野	6		-8	2	58	3.43
左中側頭回	21	125[e]	-54	-26	-10	4.22
左眼窩前頭前野	47	140	-30	28	-10	3.96
左眼窩前頭前野	47		-38	28	-16	3.68
左視床		57[f]	-6	-20	10	3.80
左中側頭回	21	85[g]	-64	-10	-8	3.74
左中側頭回	21		-58	-8	-20	3.56
左運動前野	6	31[h]	-14	-18	70	3.72
左外側視床下部		19[i]	-12	-6	-10	3.65
左前頭眼野	8	18[j]	-16	36	50	3.48
左側頭皮質下		11[k]	-46	-40	0	3.45
左上頭頂小葉皮質下		18[l]	-24	-54	52	3.38
右補足運動野	6	14[m]	12	-12	68	3.29
post > pre						
右海馬		8[n]	34	-8	-30	3.77
右橋		5[o]	10	-24	-32	3.68
左海馬		4[p]	-30	-12	-24	3.43
mid > post						
左角回	39	253	-44	-56	14	4.90
左角回	39		-52	-66	12	3.54
左運動前野皮質下		17[q]	-30	0	42	3.74
左前頭眼野皮質下		28[r]	-34	18	28	3.74
左視床前部		23[s]	-8	-12	4	3.66

右前頭眼野	8	26[t]	26	14	38	3.60
右前頭眼野皮質下			32	8	40	3.28
左前頭眼野	8	14[u]	-6	28	52	3.42
左上丘		10[v]	-2	-30	2	3.36
post > mid						
右海馬傍回		23[w]	32	-6	-32	3.84

＊Voxel level p < 0.001 uncorrected

Cluster level p [a] = 0.11, [b] p = 0.25, [c] p = 0.44, [d] p = 0.29, [e] p = 0.01, [f] p = 0.07, [g] p=0.03, [h] p = 0.17, [i] p = 0.28, [j] p = 0.29, [k] p = 0.41, [l] p = 0.29, [m] p = 0.35, [n] p = 0.49, [o] p = 0.59, [p] p = 0.64, [q] p = 0.31, [r] p = 0.19, [s] p = 0.24, [t] p = 0.21, [u] p = 0.36, [v] p = 0.44, [w] p = 0.24, その他 p < 0.001 uncorrected

コントロール条件＞決定論条件では有意に賦活した部位はなかった．決定論条件＞コントロール条件では後頭葉後部，右 TP，左 2 次視覚野背側（以下，V2d），左島前部（Anterior Insula；以下，AI）が活動した（Table 6，Fig. 3，すべて uncorrected，$p < 0.001$）．さらに，自由意志信念の操作（決定論条件）が脳活動に与える影響を抽出するため，(mid-post)-(pre-mid) のコントラストおよびその逆である (post-mid)-(mid-pre) も計算した．前者では左 AG，左 Hipp，右 FEF が活動した（Table 7，Fig. 4，すべて uncorrected，$p < 0.001$）．後者では左視床下部が活動した（uncorrected，$p < 0.001$）．

Table 6. 決定論条件＞コントロール条件における脳賦活部位 (uncorrected, p < 0.001)

			Peak MNI coordinates			
活動部位	BA	Cluster size	x	y	z	Peak Z score
右後頭葉後部	19	14[a]	2	-86	36	3.46
右側頭極	39	15[b]	56	14	-12	3.43
左 2 次視覚野（V2d）	18	14[c]	-2	-92	22	3.40
左島前部	13	16[d]	-36	12	4	3.30

＊Voxel level p < 0.001 uncorrected

Cluster level p [a] = 0.40, [b] p = 0.38, [c] p = 0.40, [d] p = 0.37, その他 p < 0.001 uncorrected

Table 7. 自由意志信念の操作によって影響を受けた脳部位（uncorrected，p < 0.001）

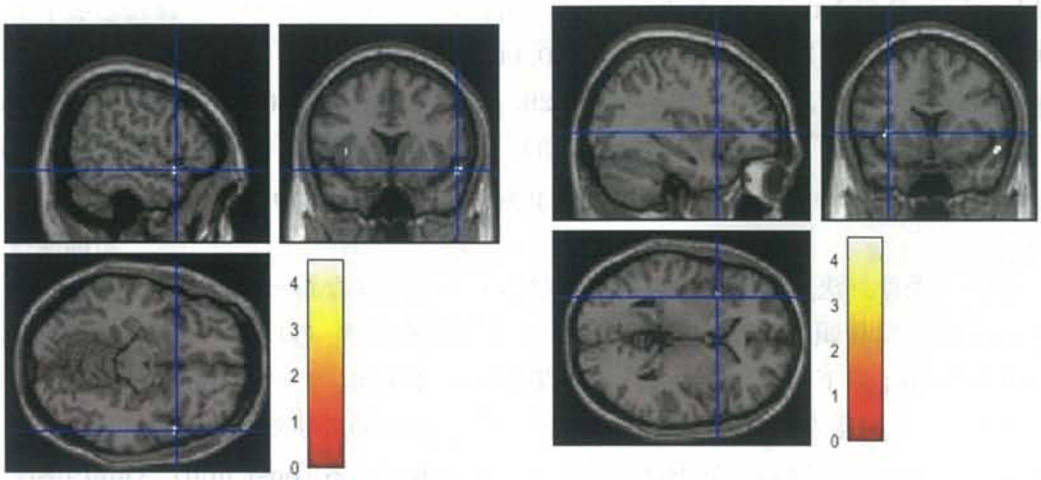
(mid-post) - (pre-mid)			Peak MNI coordinates			
活動部位	BA	Cluster size	x	y	z	Peak Z score
左角回	39	44[a]	-46	-60	14	3.65
左海馬		10[b]	-28	-24	-14	3.57
右前頭眼野	8	32[c]	32	18	40	3.56

(post-mid) - (mid-pre)					
左視床下部	4^{d}	-4	-8	-6	3.29

＊Voxel level $p < 0.001$ uncorrected

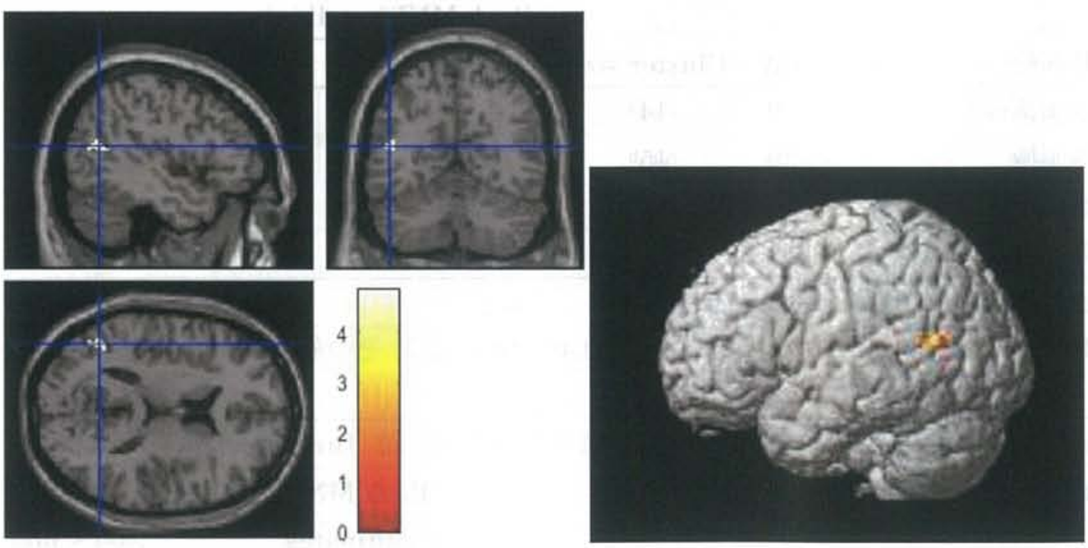
Cluster level p [a] = 0.12, [b] p = 0.46, [c] p = 0.19, [d] p = 0.66, その他 $p < 0.001$ uncorrected

Figure 3. 決定論条件＞コントロール条件で賦活した脳部位



＊有意な賦活は右後頭葉後部（2, -86, 36），右側頭極（左図 56, 14, -12），左 2 次視覚野（-2, -92, 22），左島前部（右図-36, 12, 4）に認められた．

Figure 4. 自由意志信念の操作によって影響を受けた脳部位



＊有意な賦活は左角回（図-46, -60, 14），左海馬（-28 -24, -14），右前頭眼野（32, 18, 40），に認められた．

4. 考察

本研究は，自由意志信念の変化と向社会的行動の変化に関わる脳メカニズムを調べることを目的として行った．本研究対象者の自由意志信念は先行研究のデータと比較し下回っていたものの，その可能な得点範囲の分布から自由意志の存在を信じていると考えられる．また，MRI スキャン中に行った向社会的判断の回答点数から，向社会的判断に関しては比較的ニュートラルなものであったと考えられる．これは，本研究が傍観者効果，互恵性，集団帰属，親密性，社会的地位，評判という向社会性に影響を及ぼす因子を調整しており，純粋な利他性を問うものとなっているためであると考える．純粋な利他性については，その存在自体が議論されており [4]，実験室レベルの実験において引き出すことは極めて困難である．つまり，純粋な利他性に動機づけられて向社会的行動を行うかどうかは結論が得られていない．本実験における向社会的判断の回答点数はゆるやかな向社会的傾向を示している．しかし，この向社会的判断の回答点数は，向社会的行動に影響を及ぼす，あるいは関連を認めるいかなる心理学的特性とも相関を認めなかった．したがって，本実験課題が向社会的行動に影響を及ぼし，本研究に関連の薄い因子を確実に調整できており，本実験課題は適切であったと考えられる．

自由意志信念と MRI スキャン中に行った向社会的判断における回答点数と共通に関連する特性は認められず，自由意志信念と向社会的行動（特に利他性）を媒介すると考えられる交絡因子は認められなかった．唯一，FWDS が pre-social における回答点数と相関を認めた．これらから，対象者の特性的な自由意志信念が，向社会的行動，特に利他性に一部であるが関連すると考えられる．しかしながら，自由意志信念の操作に対する向社会的判断の変化を確認するための repeated measures ANOVA において，pre-, mid-, post-social における向社会的判断の回答点数に有意差は認められなかった．このことから，本実験が自由意志信念の操作に失敗していたか，成功したとしても自由意志信念が向社会性（特に利他性）には影響を及ぼさないものと考えられる．先行研究においては，自由意志信念の操作前後で信念の低下を確認しているもの [19]，前後では確認していないがコントロール群を設けているものがある [18, 20, 21]．いずれにしても本研究の実験デザインの限界から，自由意志信念の操作によって信念が低下したことを確認することができなかったと考えられる．

本研究の真の目的は，自由意志信念の操作後の向社会的行動の変化に関わる脳メカニズムの解明である．向社会的判断条件の結果から，行動学的変化は認められなかったが，脳活動の観点から本実験結果を考察したい．まず，本実験で用いた向社会的判断の課題において最も多くの脳賦活部位が認められたのは pre-social であった．これは，fMRI adaptation あるいは対象者の課題への慣れが考えられる．実際に，向社会的判断条件における RT は pre-, mid-, post-と徐々に速くなっている（Table 2）．しかしながら，mid-および post-social は実験操作後の脳活動であるため，結果の解釈には注意を要すると考えられる．いずれにしても，対象者が最もフレッシュな状態であり，最も多くの脳賦活部位の認められた pre-social から課題の持つ意味を考えたい．pre-social において賦活した領域は左 DLPFC，左 OFC，左 PMC，左 S1，小脳虫部（vermis IX）・後葉（lobule VI），左 2 次視覚野であった．DLPFC は working memory や decision making などの高

次認知機能に関わり，短期記憶に基づいて次の運動の心的準備を行うことに関わる[55]．OFC は neuroimaging 研究の meta-analysis によると，行動変化をもたらす罰刺激に反応するとされる[56]．より全体的に OFC は内臓感覚を含めた感覚統合に関わり，特定の状況における行動の予測的な報酬や罰を信号化することに重要である[57]．ヒトの損傷研究からも，OFC が様々な社会的行動に関わることが示唆されており，感情の処理とオンラインの自己行動モニタリングに重要であるとされる[58]．小脳後葉の lobule Ⅵは，neuroimaging 研究の meta-analysis によると，言語と working memory に関わる[59]．したがって，特に課題への慣れが生じる前において，向社会的判断の課題における 12 秒の文章提示期は，その内容をボタン押し反応期まで保持し，ボタン押し反応期で適切なボタンを押すために DLPFC や小脳の lobule Ⅵをリクルートする．さらに向社会的判断の課題は，日常生活では希少な場面であると考えられる純粋な利他性を問うものであり，提示文章を読み内容を理解することで視覚（BA18）や体性感覚（S1）だけでなく，内臓感覚（OFC）を含めた感覚が動員・統合され，ボタン押し反応に備えた運動準備（OFC, PMC）が行われたと考えられる．これらから，pre-social において，社会的な行動の意志決定がなされたと考えることができる．

次に，社会的判断条件における脳活動に影響を及ぼす操作であるコントロール条件と決定論条件における脳活動を考察する．コントロール条件においては，右小脳後葉（lobule Ⅵ），右 V1，左 V2v，左小脳後葉（lobule Ⅵ / crus 1），左 SMA / pre-SMA が活動した．左右の小脳後葉および視覚野の活動に関しては pre-social において考察したものとほぼ同様の理由であると考えられる．すなわち，言語刺激を提示しているため視覚野が活動することは当然であり，提示文章の内容を処理するために小脳が活動したと考える．向社会的判断条件と異なりボタン押し反応を必要としないため，補足運動野の活動は予想外のものである．先行研究[60]と異なり頭頂皮質の活動は認められていないが，補足運動野は運動イメージによって活動する部位ともされており，対象者は提示された文章を読んで何かしらの運動反応を想像した可能性がある．

決定論条件では右 V3v，右小脳後葉（lobule Ⅵ / crus 1），右 V1，左 SMA，右 TP，左前頭前野三角部（BA45）が活動した．ここでは今まで活動していた部位に加え，TP と BA45 に有意な賦活が認められた．TP は意味記憶に関わるだけでなく，情動処理や mentalizing あるいは theory of mind と様々な高次機能に関わり，視聴覚の what stream の終点として高次認知に関わるとされる[61]．左 BA45 は Broca 野として言語機能に重要な関わりがある．今回提示した自由意志信念の操作という saliency の高い課題によって，対象者自身の知識と提示文章の世界を照合することで TP と左 BA45 が，提示文章によって喚起された情動を処理するために TP が賦活したと考える．

次は課題間のコントラストの結果を考える．決定論条件＞コントロール条件では後頭葉後部，右 TP，左 V2d，左 AI が有意に賦活したが，コントロール条件-決定論条件では有意に賦活した部位がなかったことは興味深い．決定論条件でより視覚野が働いたことは，より salient あるいは難解な言語刺激を処理するために top-down modulation が作用したと考えられる．そして，提示文章の世界観に意味的処理を施すために TP がより賦活したと考えられる．しかしながらその世界観は，コントロール条件にはない自由意

志を否定したり，決定論を強調したりというある意味での嫌悪刺激となったのかもしれない．実際に，AI は Ultimatum game における不公平な提案がなされた時のような社会的な嫌悪刺激によって賦活する[62]．さらに島は，ほぼ全身の組織からの内受容性感覚の入力が収束し，これを基盤とした自己意識に重要な役割を果たすと示唆されている[63]．これらから，自由意志信念の操作が嫌悪刺激であった可能性，あるいは自由意志を否定し決定論を強調するという新たな世界観を自身に取り込むことで自己意識が喚起され，AI が賦活したと考えられる．

このように，自由意志信念の操作が行動学的結果に影響を及ぼすことはなかったが，脳活動の結果を見ると何かしら意味のある影響を与えている可能性がある．そこで最後に，向社会的判断条件間，および自由意志信念の操作が脳活動に与える影響を抽出するため計算したコントラスト（[mid-post]-[pre-mid]およびその逆である[post-mid]-[mid-pre]）の結果を考察する．pre > mid あるいはその逆において有意差を示した賦活部位は右 1 次感覚運動野，右 FEF，左視床下部である．1 次感覚運動野や FEF は眼球運動を伴う意思決定の実行に重要であり，社会的刺激に対する脳活動として何か意味を持つものは視床下部と考えられる．一方で，pre > post および mid > post で有意差を示した賦活部位は社会性に関わるとされる脳部位が非常に多い．逆に pre-，mid-social と比較し，post-social の方が有意に賦活した部位は海馬が多く，post-social において pre-，mid-social の記憶が retrieval された可能性がある．post-social と比較し pre-social の方が有意に賦活した部位は（すなわち，post-social における deactivation）前頭葉の多くの部位（左 DLPFC，左 FP，左 OFC），左中側頭回，左上頭頂小葉皮質下など多くの社会性に関わるとされる脳部位を含む．FP は将来の行動計画など様々な高次脳機能に関わり，ヒトにおいて最も進化した脳部位である[64]．FP の neuroimaging 研究の meta-analysis によると FP には機能分化があり，外側が working memory やエピソード記憶想起に，内側が mentalizing に関わるとされる[65]．先行研究[65]と比較し，今回賦活した領域は MNI coordinates の z 軸において軽度に背側であるが，その他の x，y 軸はほぼ mentalizing によって賦活するとされる領域である．また，post-social と比較し mid-social の方が有意に賦活した部位も左角回と社会性に関わる部位を含む．このように，向社会的判断条件間の比較は mid-social が社会性に関わる脳部位にあまり影響を与えておらず，post-social において社会性に関わる多くの脳部位に影響を及ぼされているように思われる．さらに，自由意志信念の操作が脳活動に与える影響を抽出するため計算したコントラストである（mid-post）-（pre-mid）では左角回の活動が残こり（Fig. 4），その逆である（post-mid）-（mid-pre）では左視床下部の活動が残った．角回は TPJ とも称される部位であり，視点取得だけでなく，出来事に意味を与え理解するための複数の感覚情報が収束し統合するハブ領域として心的表象を操作し，身近な問題を解決し，そして関連情報へ注意の再配分を行う[66]．他にも興味深い知見として，道徳的判断課題において角回が賦活することが知られている[67,68]．このように，自由意志信念の心理学的操作は向社会的行動学に影響を及ぼさなかったが，脳活動の観点からは社会性に関連する多くの脳領域に影響を及ぼしているようである．特に，自由意志信念の操作が脳活動に与える影響を抽出するため計算したコントラスト（[mid-post]-[pre-mid]）の結果か

ら，自由意志信念の操作により角回の deactivation が生じることが示された．行動学的な影響を及ぼさなかった理由は peak z score が 3.65 と比較的小さく，また cluster size の p 値は 0.12 であったことも影響している可能性がある．すなわち，意味のある効果をもたらすものであったが効果が弱く，潜在的な影響にとどまったという解釈ができると考える．

今回，自由意志信念の心理学的操作によって，向社会的行動や脳活動に変化が生じるのかについて検討した．行動学的解析の結果，自由意志信念は向社会的判断に影響を及ぼさないことが判明した．脳活動の解析の結果，向社会的判断条件の脳活動に対するコントロール条件の影響が運動関連領野中心である一方で，自由意志信念の心理学操作の影響は前頭極，眼窩前頭前野，側頭頭頂接合部など社会性に関わる脳領域において見出された．実験順序の影響を取り除いても左側頭頭頂接合部の有意な賦活が観察された．自由意志信念の向社会的行動に対する影響は見いだせなかったが，脳活動からは何かしら意味のある影響が示唆された．

5. 文献

1) 渡辺 匠，太田 紘史，唐沢 かおり：自由意志信念に関する実証研究のこれまでとこれから哲学理論と実験哲学，社会心理学からの知見．社会心理学研究, 31(1): 56-69, 2015.

2) Baumeister RF: Free will in scientific psychology. Perspect Psychol Sci, 3(1): 14-19, 2008.

3) Nichols S: How can psychology contribute to the free will debate? In: Bear J, Kaufman JC, Baumeister RF (eds), Are we free? Psychology and free will. New York, Oxford University Press, pp10-31, 2008.

4) Stanford Encyclopedia of Philosophy: Agency. https://plato.stanford.edu/（閲覧日 2016 年 12 月 5 日）

5) Baumeister RF: Free will, consciousness, and cultural animals. In: Bear J, Kaufman JC, Baumeister RF (eds), Are we free? Psychology and free will: New York, Oxford University Press, pp65-85, 2008.

6) Nahmias E, Morris S, Nadelhoffer T, Turner J: Surveying freedom: Folk intuitions about free will and moral responsibility. Phil Psych, 18(5): 561–584, 2005.

7) Paulhus DL, Carey JM: The FAD-Plus: measuring lay beliefs regarding free will and related constructs. J Pers Assess, 93(1): 96-104, 2011.

8) Pronin E, Kugler MB: People believe they have more free will than others. Proc Natl Acad Sci U S A, 107(52): 22469-22474, 2010.

9) Rakos RF, Laurene KR, Skala S, Slane S: Belief in free will: Measurement and conceptualization innovations. Behavior and Social Issues, 17(1): 20-39, 2008.

10) Crescioni AW, Baumeister RF, Ainsworth SE, Ent M, Lambert NM: Subjective correlates and consequences of belief in free will. Phil Psych, 29(1): 41-63, 2016.

11) Stillman TF, Baumeister RF, Mele AR: Free will in everyday life: Autobiographical accounts of free and unfree actions. Phil Psych, 24(3): 381–394, 2011.

12) Stillman TF, Baumeister RF, Vohs KD, Lambert NM, Fincham FD, Brewer LE: Personal philosophy and personnel achievement: Belief in free will predicts better job performance. Soc Psychol Person Sci, 1(1): 43–50, 2010.
13) Feldman G, Chandrashekar SP, Wong KFE: The freedom to excel: Belief in free will predicts better academic performance. Pers Individ Dif, 90: 377-383, 2016.
14) Carey JM, Paulhus DL: Worldview implications of believing in free will and/or determinism: politics, morality, and punitiveness. J Pers, 81(2): 130-141, 2013.
15) Bergner RM, Ramon A: Some implications of beliefs in altruism, free will, and nonreductionism. J Soc Psychol, 153(5): 598–618, 2013.
16) Baumeister RF, Brewer L: Believing versus disbelieving in free will: Correlates and consequences. Soc Personal Psychol Compass, 6(10): 736-745, 2012.
17) Ent MR, Baumeister RF: Embodied free will beliefs: some effects of physical states on metaphysical opinions. Conscious Cogn, 27: 147-154, 2014.
18) Vohs KD, Schooler JW: The value of believing in free will: encouraging a belief in determinism increases cheating. Psychol Sci, 19(1): 49-54, 2008.
19) Baumeister RF, Masicampo EJ, Dewall CN: Prosocial benefits of feeling free: disbelief in free will increases aggression and reduces helpfulness. Pers Soc Psychol Bull, 35(2): 260-268, 2009.
20) Alquist JL, Ainsworth SE, Baumeister RF: Determined to conform: Disbelief in free will increases conformity. J Exp Soc Psychol, 49(1): 80-86, 2013.
21) Shariff AF, Greene JD, Karremans JC, Luguri JB, Clark CJ, Schooler JW, et al.: Free will and punishment: a mechanistic view of human nature reduces retribution. Psychol Sci, 25(8): 1563-1570, 2014.
22) Acquisti A, Brandimarte L, Loewenstein G: Privacy and human behavior in the age of information. Science, 347(6221): 509-514, 2015.
23) Bickart KC, Hollenbeck MC, Barrett LF, Dickerson BC: Intrinsic amygdala-cortical functional connectivity predicts social network size in humans. J Neurosci, 32(42): 14729-14741, 2012.
24) Baumeister RF, Bratslavsky E, Muraven M, Tice DM: Ego depletion: is the active self a limited resource? J Pers Soc Psychol, 74(5): 1252-1265, 1998.
25) Muraven M, Baumeister RF: Self-regulation and depletion of limited resources: does self-control resemble a muscle? Psychol Bull, 126(2): 247-259, 2000.
26) Vohs KD, Baumeister RF, Schmeichel BJ, Twenge JM, Nelson NM, Tice DM: Making choices impairs subsequent self-control: a limited-resource account of decision making, self-regulation, and active initiative. J Pers Soc Psychol, 94(5): 883-898, 2008.
27) Gailliot MT, Baumeister RF, DeWall CN, Maner JK, Plant EA, Tice DM, et al.: Self-control relies on glucose as a limited energy source: willpower is more than a metaphor. J Pers Soc Psychol, 92(2): 325-336, 2007.

28) Izuma K: The social neuroscience of reputation. Neurosci Res, 72(4): 283-288, 2012.

29) Fehr E, Fischbacher U: The nature of human altruism. Nature, 425(6960): 785-791, 2003.

30) Libet B: Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action. Behav Brain Sci, 8(4): 529-539, 1985.

31) Soon CS, Brass M, Heinze HJ, Haynes JD: Unconscious determinants of free decisions in the human brain. Nat Neurosci, 11(5): 543-545, 2008.

32) Rigoni D, Kühn S, Sartori G, Brass M: Inducing disbelief in free will alters brain correlates of preconscious motor preparation: the brain minds whether we believe in free will or not. Psychol Sci, 22(5): 613-618, 2011.

33) Krueger F, Hoffman M, Walter H, Grafman J: An fMRI investigation of the effects of belief in free will on third-party punishment. Soc Cogn Affect Neurosci, 9(8): 1143-1149, 2014.

34) Frith CD: The social brain? Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 362(1480): 671–678, 2007.

35) Oldfield RC: The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. Neuropsychologia, 9(1): 97-113, 1971.

36) Weisman de Mamani A, Gurak K, Maura J, Martinez de Andino A, Weintraub MJ, Mejia M: Free will perceptions and psychiatric symptoms in patients diagnosed with schizophrenia. J Schizophr Res, 2(2): 1-5, 2015.

37) Paulhus DL: Two-component models of socially desirable responding. J Pers Soc Psychol, 46: 598–609, 1984.

38) Li A, Bagger J: Using the BIDR to distinguish the effects of impression management and self-deception on the criterion validity of personality measures: A meta-analysis. INT J SELECT ASSESS, 14: 131-141, 2006.

39) Paulhus DL: Assessing self-deception and impression management in self-reports: the Balanced Inventory of Desirable Responding. 1988, http://www.mindfulness-extended.nl/content3/wp-content/uploads/2013/07/Measures-Package.pdf#page=41（閲覧日 2016 年 12 月 13 日）.

40) Brown JD, Smart SA: The self and social conduct: Linking self-representations to prosocial behavior. J Pers Soc Psychol, 60(3): 368-375, 1991.

41) Klein N: Prosocial behavior increases perceptions of meaning in life. J Pos Psychol, published online 18 jul: 1-8, 2016.

42) Rosenberg M: Society and the adolescent self-image. Princeton NJ, Princeton University Press, 1965.

43) Ciarrochi J, Bilich L: Acceptance and commitment therapy. Measures package. Process measures of potential relevance to ACT, 2006. http://www.mindfulness-extended.nl/content3/wp-content/uploads/2013/07/Measures-Package.pdf（閲覧日

2016年12月13日)
44) Carlson M, Charlin V, Miller N: Positive mood and helping behavior: a test of six hypotheses. J Pers Soc Psychol, 55(2): 211-229, 1988.
45) George JM, Brief AP: Feeling good-doing good: a conceptual analysis of the mood at work-organizational spontaneity relationship. Psychol Bull, 112(2): 310-329, 1992.
47) Rushton JP, Chrisjohn RD, Fekken GC: The altruistic personality and the self-report altruism scale. Pers Individ Dif, 2(4): 293-302, 1981.
46) Watson D, Clark LA, Tellegen A: Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. J Pers Soc Psychol, 54(6): 1063-1070, 1988.
48) Davis MH: A multidimensional approach to individual differences in empathy. JSAS Catalog of Selected Documents in Psychology, 10: 85, 1980.
49) Penner LA, Fritzsche BA, Craiger JP, Freifeld TS: Measuring the prosocial personality. In: Butcher JN, Spielberger CD (Eds.), Advances in personality assessment, Vol. 10, Psychology Press, pp147-163, 1995.
50) Lay JC, Hoppmann CA: Altruism and prosocial behavior. Encyclopedia of Geropsychology, 1-9, 2015.
51) Davis MH: Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach. J Pers Soc Psychol, 44(1): 113–126, 1983.
52) Caprara GV, Steca P, Zelli A, Capanna C: A new scale for measuring adult's prosocialness. Eur J Psychol Assess, 21(2): 77-89, 2005.
53) Carlo G, Randall BA: The development of a measure of prosocial behaviors for late adolescents. J Youth Adolesc, 31: 31-44, 2002.
54) 渡辺 匠: 私信. 2016年9月21日.
55) Pochon JB, Levy R, Poline JB, Crozier S, Lehéricy S, Pillon B, et al.: The role of dorsolateral prefrontal cortex in the preparation of forthcoming actions: an fMRI study. Cereb Cortex, 11(3): 260-266, 2001.
56) Kringelbach ML, Rolls ET: The functional neuroanatomy of the human orbitofrontal cortex: evidence from neuroimaging and neuropsychology. Prog Neurobiol, 72(5): 341-372, 2004.
57) Schoenbaum G, Takahashi Y, Liu TL, McDannald MA: Does the orbitofrontal cortex signal value? Ann N Y Acad Sci, 1239: 87-99, 2011.
58) Beer JS, John OP, Scabini D, Knight RT: Orbitofrontal cortex and social behavior: integrating self-monitoring and emotion-cognition interactions. J Cogn Neurosci, 18(6): 871-879, 2006.
59) Stoodley CJ, Schmahmann JD: Functional topography in the human cerebellum: a meta-analysis of neuroimaging studies. Neuroimage, 44(2): 489-501, 2009.
60) Hanakawa T, Immisch I, Toma K, Dimyan MA, Van Gelderen P, Hallett M: Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. J

Neurophysiol, 89(2): 989-1002, 2003.
61) Olson IR, Plotzker A, Ezzyat Y: The Enigmatic temporal pole: a review of findings on social and emotional processing. Brain, 130(Pt 7): 1718-1731, 2007.
62) Sanfey AG, Rilling JK, Aronson JA, Nystrom LE, Cohen JD: The neural basis of economic decision-making in the Ultimatum Game. Science, 300(5626): 1755-1758, 2003.
63) Craig AD: How do you feel--now? The anterior insula and human awareness. Nat Rev Neurosci, 10(1): 59-70, 2009.
64) Semendeferi K, Armstrong E, Schleicher A, Zilles K, Van Hoesen GW: Prefrontal cortex in humans and apes: a comparative study of area 10. Am J Phys Anthropol, 114(3): 224-241, 2001.
65) Gilbert SJ, Spengler S, Simons JS, Steele JD, Lawrie SM, Frith CD, Burgess PW: Functional specialization within rostral prefrontal cortex (area 10): a meta-analysis. J Cogn Neurosci, 18(6): 932-948, 2006.
66) Seghier ML: The angular gyrus: multiple functions and multiple subdivisions. Neuroscientist, 19(1): 43-61, 2013.
67) Greene JD, Sommerville RB, Nystrom LE, Darley JM, Cohen JD: An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. Science, 293(5537): 2105-2108, 2001.
68) Young L, Cushman F, Hauser M, Saxe R: The neural basis of the interaction between theory of mind and moral judgment. Proc Natl Acad Sci U S A, 104(20): 8235-8240, 2007.

6. 謝辞

本研究の計画から修士論文作成までご指導いただきました菊池先生，則内先生，実験のお手伝いをしてくださいました院生の坪内さん，学部生の石澤くん，そして被験者としてご協力いただきました各位に深謝いたします．