

地形改変による周辺地域の 微気象変化に関する考察

関本善則^{※)}
大塚尚寛^{※※)}
海老名弘明^{※※※)}

1. まえがき

碎石用原石山の採掘が、山の片側斜面にベンチを構築する、いわゆる山腹式階段採掘から次第に大規模化し、尾根を越えて反対側に展開する例や、最初から山頂に切羽を設けてスライスダウン式で採掘を進め、山全体を取り去ってしまう例などが、かなり増加してきている。

このように、大規模な開発行為の結果生ずる大幅な地形改変は、明らかに周辺の環境に大きな影響を与える。例えば、動物や植物の生態系を破壊して生物を絶滅の危機にさらしたり、景観を損ねて住民との間に摩擦を生じたりするほか、地域の微気象とくに風向、風速に従前と異なる現象を起こし、農作物などに思いがけない被害をもたらしたりする。

この研究は、このような露天採掘に起因する地形改変が、周辺地域の微気象に及ぼす影響を検討する目的で、公共用地の造成に伴って行われた尾根の稜線の切取りが、当該地域の微気象に及ぼした影響と、全山採掘方式で現在操業中の碎石山の採掘終了後に、当該地区の微気象にどのような変化が予測されるかの二例について検討を加えたもので、以下にその内容を詳述する。

2. 微気象変化予測のプロセス

微気象とは、通常、数m～数kmの範囲の気象をいい、その要素としては、気温、降水量、気圧、風、日照、日射などがあげられる。そして、このなかでは、風が最も重要な要素であるとされている¹⁾。なぜならば、風の状態の如何によって他の微気象要素が左右されることが多いからである。また、微気象の因子としては、微気象の要

素の分布に影響を与える地表の諸性質、すなわち、海拔高度、水陸分布、地表の状態（起伏、温度、植生、色など）、斜面の傾斜、付近の山地の状態などがあげられている。

以上のことから、本研究においては、地形改変に伴う微気象変化を予測する方法として、地形と風との関係に焦点を絞り、その検討結果から、予測の結論を導くことにした。具体的には以下の通りである。

- (1) 当該地域の測候所で観測された既往の気象データから風配図、風速度数分布図を含む広域的な風体系の現況図を作成する。
- (2) 開発計画図などに基づいて、コンピュータグラフィックスにより鳥瞰図を作成し、地形改変状況をシミュレーションする。そして、これに基づいて、地形と風向の関係を予測する。
- (3) 地形と風向との関係を数量的に表現する方法を用いて、地形改変前後の風向変化を定量的に予測する。
- (4) 改変前に当該地域、とくに、稜線部が樹林で覆われている場合には、その樹林が防風林として機能していると想定されるので、伐採による風体系の変化、とくに防風効果の減衰を検討予測する。
- (5) 以上の結果をもとに、地形改変と微気象変化の関連を求めらる。

3. 稜線の切取りと山麓部の 微気象変化との因果関係の考察

稜線を切り取る改変がなされた場合、山麓部の微気象にどのような変化を与えたかについて、事例による検討結果を本章で述べる。

※) 正会員 理事 岩手大学工学部 資源開発工学科 教授

※※) 岩手大学工学部 資源開発工学科 助教授

※※※) 岩手大学工学部 資源開発工学科 大学院

この検討事例は、A市が施設建設用地の造成のために、山間地に候補地を設定し、造成工事を行った際、尾根の稜線を切り取った結果、従来強い風の吹くことになかった南斜面を尾根越えの風が吹き抜けるようになり、斜面に作付していた茶の木が枯死したとの被害申し立てがあったもので、稜線を切り取った建設工事と風害との因果関係を証明するため行ったものである。

(1) 既往の気象データによる風体系の現況

第1図は、当該地域の南方約4kmにある測候所の観測データから作成した月別風配図のうち、季別代表例を示したものである。

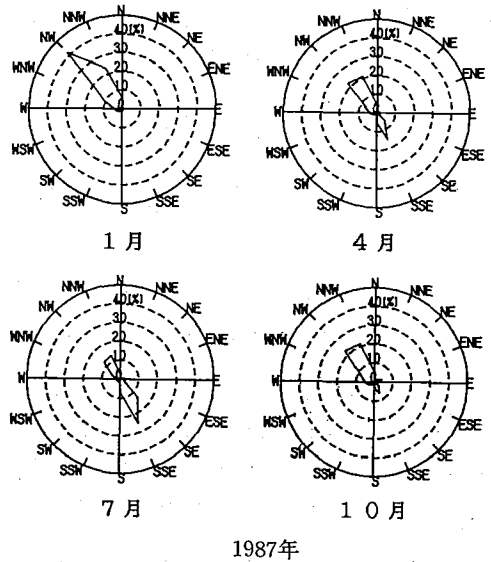
図より、A市においては、冬期は北西、夏期は南南東の風が卓越しており、春と秋にはそれらの風向が相半ばする傾向がみとめられる。

第2図は、時刻別の平均風速を月別に作成したもののうちから、季別の代表例を示したものである。

図より、冬から春先にかけて、日中に比較強い風が吹くようである。

(2) 地形改変前後の鳥瞰図による風体系変化の予測

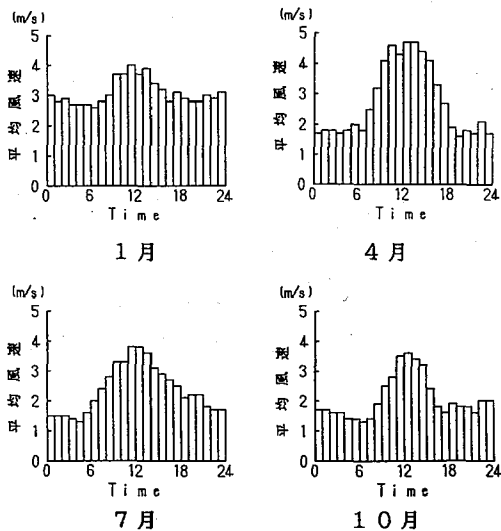
第3図は、用地造成計画図をもとに、当該地域を南東方向からみた改変前後の鳥瞰図をコンピュータグラフィックスにより作成したものである。なお、メッシュの大きさは20×20mで、東西800m、南北600mの地域を表し



第1図 A市における季別の風配図

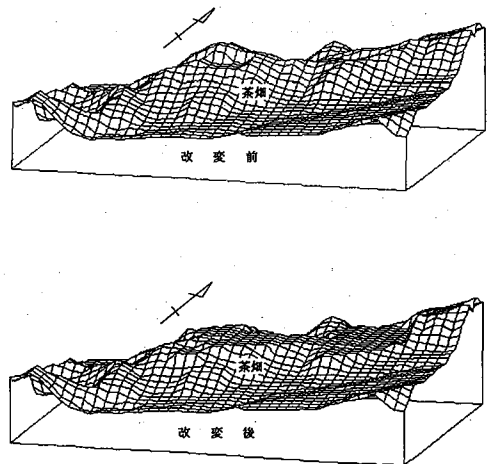
たものである。

図から明かなように、改変前には、尾根部分の切り取りはなく、当該地域への北西風の吹き込みはあまりなかったものと推定される。しかし、用地造成により尾根部分がかなり切り取られ、北西方向から風が吹き込み易い状



1987年

第2図 A市における季別の時刻毎の平均風速



第3図 A市における地形改変前後の鳥瞰図

況になることが予測される。完成時の最大切り取り高さは、造成予定地東端で95.3mから74.0mまでの21.3mである。

ここで、改変以前の当該地域の風況を推定してみる。小地形と風況の関係を定量的に推定する方法は確立されていないが、定性的にはかなりのことが明かとなっている²⁾。このうち今回対象としている地形状況に関連するものを挙げると、以下のとおりである。

- イ. 風は谷に沿って吹く。
- ロ. 山の尾根では、尾根の走行と直角に吹く風向が多く、また、その方向の風が強い。

これらの知見に基づいて当該地域の改変以前の風況を推定すると、当該地域の北側にある川沿いに吹く風は、尾根を越えて当該地域に吹き込んでいたことが考えられる。しかし、用地造成地域にあった杉の植生林が防風林の役目を果たしており、風速を低下させて当該地域への北西風の吹き込みを少なくさせていたものと思われる。

(3) 地形改変に伴う風向変化の定量的予測

地形と風向の関係を数量的に表現する方法は、現在のところ試論の域をでていない。しかし、吉野によれば、山地の近くにおいてその影響のみとめられる地点の年間最多風向頻度 (F_1) と、16方位別の地表の傾斜の偏差 (K_1) との間には、(1) 式のような関係が成り立つとしている。

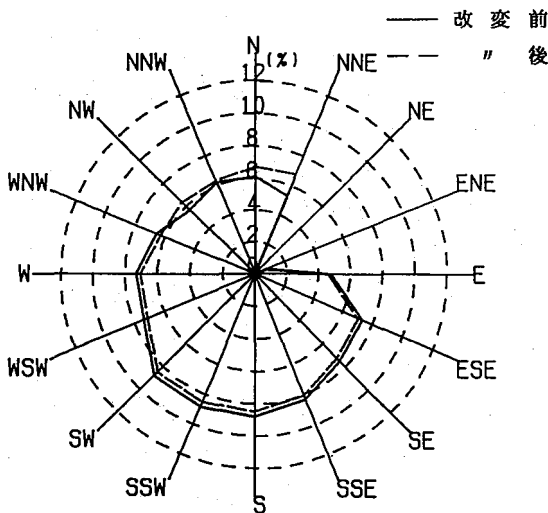
$$F_1 = -193.15K_1 + 18.33 \dots \dots \dots (1)$$

ここで K_1 は、基準地点を中心にして16方位に線を引き、各線上1km以内の最高地点と基準地点との高度差を1kmで割って、16方位別の傾斜 ($\tan \alpha$) を算出し、これらの平均値との差として求められる。この方法により求めた K_1 は、地形の傾斜の程度を示すものであり、偏差が負で絶対値が大きいほど谷が深く刻んでいる（風が吹き易い）ことを意味し、偏差が正で絶対値が大きいほど高い山がある（風が吹きにくい）ことを意味している。なお、(1) 式で求められる F_1 は、偏差 K_1 が負で最も大きいものに対応して最多風向頻度を示すものであるが、本研究では、全ての方位に対して(1) 式を適用してみた。

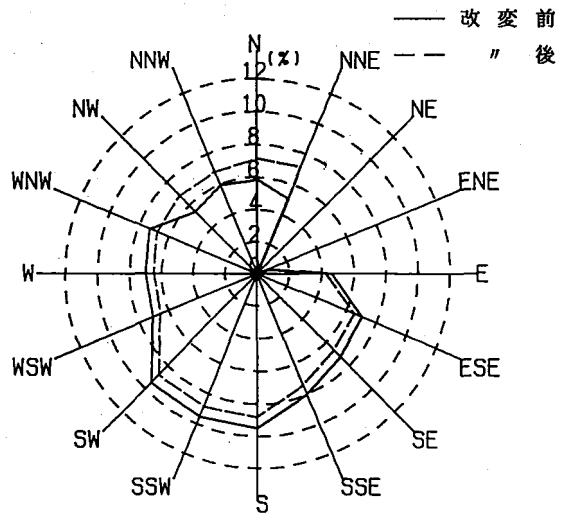
また、 F_1 の値が大きいほどその方向から風が吹き易いことを表しているが、16方位の F_1 の合計は100%を越すという問題がある。そこで、本研究では、 F_1 が最小の方位の風向頻度を0として、各方位の風向頻度 E_1 を(2) 式により求めた。

$$E_1 = \frac{100 \times (F_1 - F_{\min})}{\sum_{i=1}^{16} (F_{1i} - F_{\min})} \dots \dots \dots (2)$$

ところで、用地造成地域は、造成以前は杉の植生林に覆われていた。したがって、造成による地形の改変には樹木の伐採による高さ変化も加味する必要があると思わ



第4図 地形改変前後の地形因子による風配図 (地盤高さで計算した場合)



第5図 地形改変前後の地形因子による風配図 (標高を含めて計算した場合)

れる。そこで、地盤高さによる方法の他に、樹木で覆われていた部分には樹高(約12m)を加えたものをその地点の高さとする方法を採用してみた。造成による地形改変に伴う標高の変化は、基準地点からみてN、NNE、NW、NNWの4方向にみられる。これらの方向の最高点にはいずれも杉の植生林があったことから、地盤の切取り高さに樹木の伐採による高さの減少(約12m)を加えた高さを地形改変高さとして、造成後の風向頻度の予測計算を行った。

これらの計算結果をもとに、改変前後の風配図を描いたものが、第4図、第5図である。

第4図は、地盤の高さで計算した場合である。図より、N～E方向の風向頻度が低く、S～W方向の風向頻度が高いことがわかる。すなわち、地形因子からみた風向頻度では、用地造成地域であるN～E方向からは、尾根があるため風が吹きにくく、逆に平地であるS～W方向からは風が吹き易い状況にあるといえる。

また、改変前後の風向頻度を比較すると、用地造成によってNW～NNE方向の尾根が切り取られたために、この方向の風向頻度が増加し、逆に、SW～S方向の風向頻度が相対的に減少する傾向がみとめられる。この傾向は、樹木の高さを考慮した第5図の場合の方がより顕著に現れている。

ところで、先に述べた既往の気象観測データによれば、A市における冬期の卓越風向は北西である。そこで、地形因子からみたこの方向の風向頻度を改変前後で比較してみると、地盤の標高で計算した場合には5.7%から6.4%に、樹木の高さを考慮して計算した場合には5.5%から6.9%にそれぞれ増加している。つまり、用地造成による地形改変に伴い、基準地点(茶畑)への北西風の吹き込み頻度は、地盤の標高で計算した場合で1.12倍、樹木

の高さを考慮して計算した場合で1.25倍に増加すると推定される。

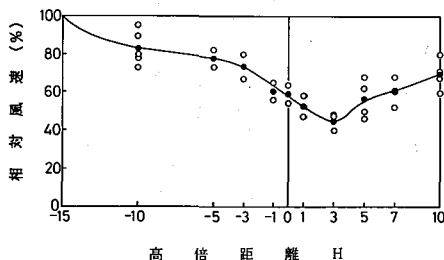
(4) 防風林の減風効果

用地造成地域は、造成以前は杉の植生林であり、この林が造成前には茶畑の北西風に対する防風林となっていたことが考えられる。したがって、用地造成により伐採された植生林が、造成以前にどの程度の減風効果を有していたかを検討する必要がある。そこで、防風林の減風効果について調べるために、岩手県雫石町の小岩井農場において、防風林前後の各点で風向、風速の観測を行った。減風効果を調べた同農場の防風林は杉の植生林で、その規模は、樹高約13.4m、植生間隔約3m、長さ約500m、幅約60mである。これは、用地造成地域にあった杉の植生林とほぼ同一条件のものである。

観測結果をもとに、相対風速と高倍距離(防風林からの距離を樹高の倍数で表したもの)との関係を示したものが、第6図である。図中の、○は観測値、●は観測値の平均を示す。なお、相対風速とは、基準地点(風上側-15H)の風速と、同時点に観測した各地点における風速の比である。

図より、風上側-10Hでの相対風速は平均で80%程度で、すでに減風効果が現れており、防風林に近づくにつれて相対風速は減少しているのがわかる。風下側では、相対風速はさらに小さくなり、減風効果はより顕著に現れている。風下側3Hで相対風速は最小となるが、防風林から離れるにしたがって、相対風速は再び増加し、減風効果が低下していくのがわかる。通常、風下側での減風効果は20H程度までであるといわれている。⁴⁾

このように、防風林による減風効果は明らかにみとめられ、相対風速が最小となる3Hでは、風速が半分以下に低下し、また、10Hでも70%程度に減少することが明らかとなった。防風林の減風効果は、樹高、風の性質、防風林の構造のほかに、防風林前後の地表の状態などによって変化するといわれている。これらの要因のうち、今回減風効果を調査した小岩井農場の防風林と、用地造成地域に存在した杉の植生林は、樹高や防風林の構造に関しては、ほぼ類似したものと見える。しかし、防風林前後の状態に関しては、小岩井農場では前後とも平坦な牧草地であるのに対して、当該地域周辺は丘陵状になっており、民家などの風の流れを乱す障害物も多く、微気



第6図 相対風速と高倍距離との関係

象の因子が異なっている。したがって、小岩井農場における測定結果をそのまま当該地域に当てはめることはできない。例えば、防風林の減風効果は、周辺の地形と防風林の設置箇所との関係で大いに異なるといわれている。小岩井農場では防風林は平地に設置されているのに対して、当該地域では尾根部分に防風林が設置されていたことになる。これに関して、山本によれば、山稜を吹き越す風に対しては、山頂部の稜線に防風林を設置した場合には、風下側の減風効果は平地に比べてはるかに大きく、かつ広い領域が保護されるといわれている。よって、先の測定結果以上の減風効果があったことも考えられる。

いずれにしても、当該地域の北西側に隣接して存在した杉の植生林は、北西風に対する防風林として効果があったことが考えられる。とくに、被害の申し立てのあった茶畑は、用地造成以前には、杉の植生林による減風効果が最も顕著に現れる位置にあって、茶の木が保護されていたといえる。先の減風効果の測定結果を引用すれば、造成工事により杉の植生林が伐採されたことによって減風効果がなくなり、風速は以前の2倍程度に増加したことが考えられる。

4. 採掘終了後に生ずる 周辺地域の微気象への影響

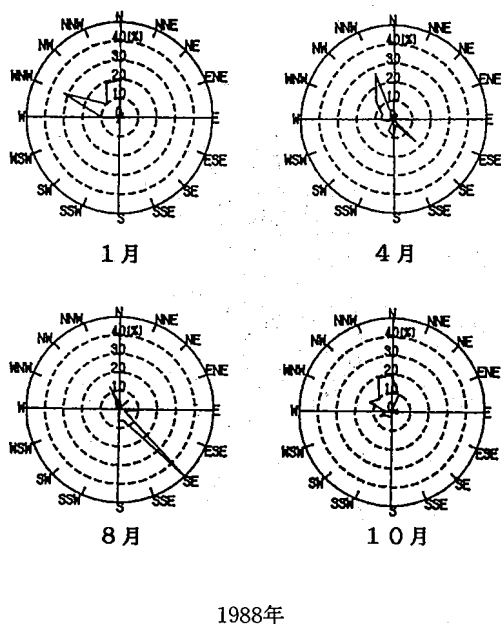
全山採掘方式による採掘が終了すると、広大な面積の採掘跡地が出現することになり、その跡地の利用価値はきわめて大きなものがある。その反面、当該地域の風速、風向など微気象に及ぼす影響はかなり大きいと想定され、採掘計画において重要課題の一つとして検討されねばならない。

ここに取り上げる事例は、B市において現在採掘されている碎石場を、今後20年間にわたり標高50mレベルまで採掘を続け、その跡地として得られる約20万㎡の土地を市役所、公会堂、図書館、野球場、陸上競技場等の公共用地として利用しようとする計画である。

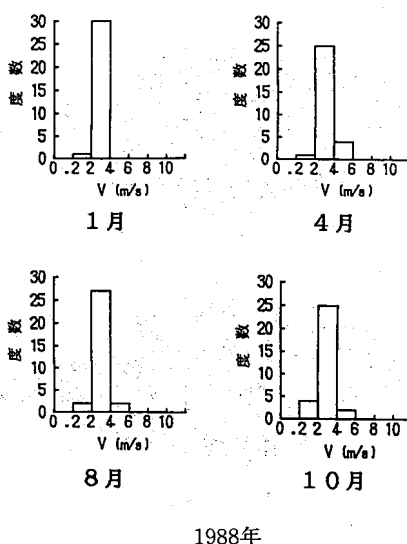
しかし、このような大規模開発は、大量の骨材資源と広大な土地が得られる反面、採掘による地形変化が地表に及んだ場合、周辺地域の微気象への影響が予想されるので、本研究では開発による利益と環境影響のバランスを検討しようとするものである。

(1) 気象データによる現況の風体系

第7図は、採掘場より南東約2kmにある測候所で観測されたデータをもとに作成した1987~1989年までの月別風配図のうち、1988年の季別のものを例として示したものである。図をみると、冬はNNW~WNW、夏はSSE



第7図 B市における季別の風配図



第8図 B市における季別の風速度数分布図

(154)

～SE方向の風が卓越しており、春にはそれらが相半ばしており、この傾向はいずれの年にもみとめられた。

第8図に、月別風速度数分布図のうち、例として1988年の季別のものを示す。図からわかるように、風速はどの季節にも2～4 m/secが多く、10 m/secを越すような強風の月はみられないことから、この地域を吹く風は微風であると判断される。

以上のことから、B市の風向、風速の状況は、冬期はNW、夏期はSE方向の風が卓越するが、風速は全般に小さいといえる。

(2) コンピュータグラフィックスによる地形改変の予測

第9図は、用地造成計画をもとに、採掘予定地域をNW方向からみた、改変前後の鳥瞰図である。作成手順としては、25000分の1の地図を用い、37.5m(地図上で1cm)毎に採掘予定地を中心に東西51、南北51のメッシュを切り、計2601点上の標高データを入力して作成した。

(3) 風向変化の定性的予測

第9図の改変前後の鳥瞰図を比較すると、前面の尾根の切り取りにより、北西方向から風が吹き込み易い状況になることが予測される。

(4) 風向変化の定量的予測

地形と風向の関係を定量的に予測するにあたり、既述の(1)、(2)式に加え、ここではより広い地域の変化をみるため、つぎの(3)、(4)式によっても、風向変化の

予測計算を行った。

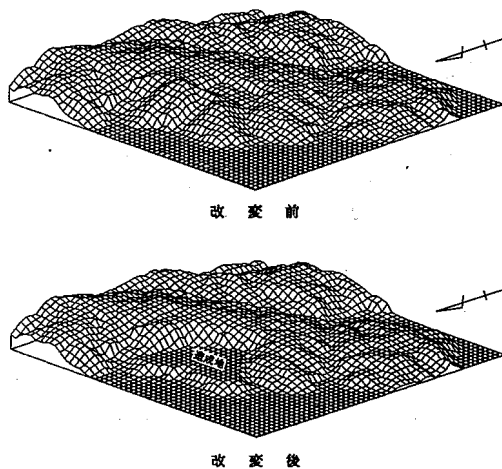
$$F_2 = -208.25K_2 + 19.81 \dots\dots\dots (3)$$

$$E_2 = \frac{100 \times (F_2 - F_{\min})}{\sum_{i=1}^{16} (F_{2i} - F_{\min})} \dots\dots\dots (4)$$

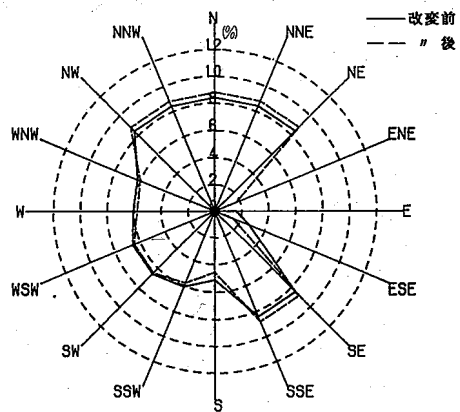
ここで、(1)、(2)式では、基準線の長さが1kmであるのに対し、(3)、(4)式では基準線の長さは2kmである。例えば、採掘予定地よりSW方向に約2km離れた市役所分庁舎を中心に、改変前後の風向変化を求めたところ、ENE方向で53mの最大高低差がみられ、その結果、2%近くの頻度の違いが生ずることがわかった。

第10図は、この地形改変前後における風向頻度 E_2 をもとに作成した地形因子による風配図である。実線が改変前、点線が改変後を表している。この地点では、改変に伴いNW～NE方向およびSE～SSE方向の風向頻度が増加し、S～WNW方向の風向頻度が減少する傾向がみとめられる。したがって、冬はNNW、夏はSSE方向の風が卓越する傾向が、現在よりもなお顕著になるものと予測される。

つぎに、この地域における地形因子による卓越風向の変化を全般的に知るために、25000分の1の、採掘予定地付近の地図に200m毎にその予定地を中心として東西22、南北25のメッシュを切り、計550点について16方位の最



第9図 B市における地形改変前後の鳥瞰図



第10図 地形改変前後の地形因子による風配図

高点を求め、これから前記の計算式を用いて風向頻度の計算を行い風配図を作成した。

なお、この碎石場跡地利用計画では、50mレベルまでの採掘を予定しているが、これでは微気象への影響や、景観上の問題が非常に懸念されるため、採掘範囲を少し小さくして、70mレベルおよび、85mレベルまで採掘した場合も想定して、微気象変化の予測を行った。

これらの想定にしたがって、地形因子による卓越風向を、各々の点において風配図より分析し、改変前後について表した一例(50mレベル)が第11図である。図中の矢印は、その方向への風の吹き易さを示している。改変により卓越風向が変化する地点については、改変後の卓越風向を太い矢印で示した。

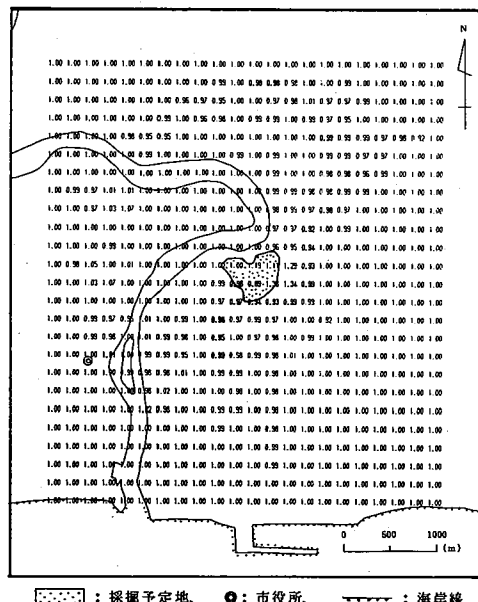
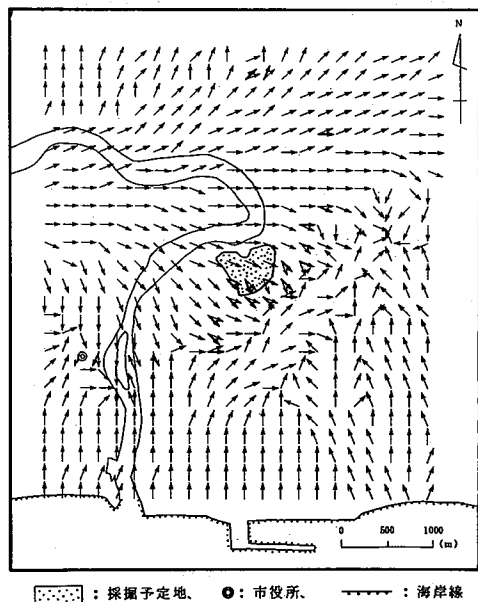
この図をみると、地形と風の吹き込み易さが一致しており、今回採用した定量的予測の方法が適していることが窺われる。すなわち、この地域における地形因子による卓越風向は、海岸地域では南、市街地では西であることがわかる。また、山の尾根や谷での卓越風向は、尾根や谷に沿って平地の方向になることがわかる。

改変後では、この採掘予定地の周辺地域に若干の風向

変化が現れることがわかるが、極端な風向変化はみられない。しかし、採掘予定地や、その東側から南側にかけての延長約2kmの範囲に風向変化がみられる。また、70mレベル、85mレベルでも、ほとんど同じ様な結果が得られた。

第12図は改変前後での、卓越風向の頻度変化を表したもので、前述した第11図に対応している。

図中の数値は、改変前の卓越風向頻度を1.00としたもので、1.00以上はその頻度の割合が増加したことを表し、1.00未満は逆に減少したことを表している。0.01の増減は、1%の増減を表している。また太字の数値は、卓越風向が改変後で変わった箇所を示している。これを見ると、割合的には少ないが、広範囲で風向頻度の変化がみられる。また、改変後に卓越風向が変化すると予測される地点では、他の地点と比べて風向頻度が大きく変化している場合が多い。50mレベルまでの採掘を想定すると、卓越風向が変化すると予測される地点では、最高で36%の頻度増加が現れ、85mレベルでも30%の頻度増加がみられる。これは改変に伴い吹き込みの度合いが、東側から南側にかけて集中するためと思われる。また、50m、70



第11図 地形改変による卓越風向の変化

第12図 地形改変による卓越風向頻度の変化

m、85mの各レベルを比較してみると、風向頻度の増加がそれぞれ19%、13%、9%と、採掘レベルによる風向頻度の増加の違いが顕著に現れる地点がみつめられた。

5. まとめ

露天採掘など大規模開発による地形改変が、周辺地域の微気象、とくに風向、風速に及ぼす影響について検討を行った結果、次に述べるようなことが明らかとなった。

- (1) 尾根の稜線を切り取るような改変を行った場合、その地形改変高さから風向頻度の変化を定量的に予測できること、また稜線の樹木の伐採が風向変化や風速増加などの風体系変化に大きく影響することが明らかとなった。すなわち、本研究の事例のように最大約21mの稜線部の切り取りと、そこに植生していた樹高約12mの樹林の伐採によって茶畑への風の吹き込み頻度はおよそ25%程度増加し、風速も約2倍前後にも増加した可能性が推測された。したがって、申し立てのあった農作物被害との因果関係も成立するであろうことは明らかである。
- (2) 全山採掘方式を取ったB市の事例では、地形改変前の採掘場付近は、西から北西よりの風が吹き易かったものが、改変に伴い東側から南側にかけての延長約2kmの地域で風向変化が起き、その地域では風向頻度が

最高36%増加すると予測された。また、測候所のデータから、B市では、既述のように夏は南東、冬は西北西の風向頻度が高いので、地形因子による卓越風向がほぼ一致する冬期に、改変に伴う風向頻度の影響が現れ易いと考えられる。しかし、影響の現れ易いと考えられる冬期でも、この地域を吹く風の多くが $2\sim 4\text{ m/sec}$ 程度の微風であること、また、改変に伴う風向頻度も最高36%増加するけれども、影響する地域が山側であり住宅地、市街地側ではないことなどを考慮すると、生活環境への影響はほとんど現れないものと判断される結論となった。したがって、この改変に伴う微気象変化への影響は少ないものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 吉野正敏：小気候 p. 1～7 地人書館 1986
- 2) 吉野正敏：気候学 p. 207～210 大明堂 1978
- 3) 吉野正敏：「風向に及ぼす地形の影響」 地理学評論 Vol. 25、No. 3 1952
- 4) 真木太一：風害と防風施設 p. 174～180 文永堂 出版 1987
- 5) 山本良三：「風向転換による防風法の応用に就いて」 日本作物学会紀事 Vol. 24 p. 217～218 1956